

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikka

Tutkintotyö

Toni Kettunen

NÄKÖVAMMAISTEN ILMAKIVÄÄRITÄHTÄIMEN KEHITYS

Työn ohjaaja
Tampere 2007

Yliopettaja Jorma Punju

Tekijä:	Toni Kettunen
Työn nimi:	Näkövammaisten tähtäinlaitteen kehitys
Päivämäärä:	25.04.2007
Sivumäärä:	50 sivua
Hakusanat:	Elektroninen tähtäin, Optoelektroniikka, FM-lähetin
Koulutusohjelma:	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto:	Tietoliikennetekniikka
Työn valvoja:	Yliopettaja Jorma Punju
<p>Tässä insinöörityössä tutkittiin erilaisia tapoja toteuttaa tähtäinlaite näkövammaisten ilmakivääriammuntaan. Tutkimusten perusteella valittiin paras vaihtoehto tähtäinlaitteen toteutukselle, joka lopuksi toteutettiin. Työn aikana tutkittiin eri tapoja aistia tähtäyspiste elektronisesti, kuinka tähtäyselektroniikan havainnoima tähtäyspiste muunnetaan audiomuotoiseksi ohjeeksi ampujalle ja kuinka audiomuotoinen ohje saadaan siirrettyä ampujalle.</p> <p>Työssä tutkittiin erilaisia elektroniikan komponentteja ja niiden ominaisuuksia sekä soveltuvuutta tähtäinlaitteen toteutukseen. Tähtäinlaitteen ohella työssä tutkittiin mahdollisuuksia käyttää langattoman tiedonsiirron etuja audion välityksessä, jolloin ammunta muistuttaisi enemmän normaalia ammuntaa.</p> <p>Eri toteutusmahdollisuuksia tutkittiin simuloimalla elektronisia kytkentöjä tarkoitukseen sopivilla ohjelmistoilla, mutta myös käytännön mittaukset olivat erittäin tärkeitä tutkimuksessa. Käytännön mittaukset olivat erittäin tärkeä osa tutkimusta, kun tutkittiin asioita, joita ei pystytty simuloimaan tietokoneella, tai ne eivät olleet luotettavia.</p> <p>Työn aikana havaittiin, että toteutustapoja on useita, mutta kuten yleensä, tässäkin työssä valittiin yksinkertaisin toteutustapa.</p>	

Author:	Toni Kettunen
Name of the thesis:	The development of the aiming device for the visually impaired persons
Date:	25 th April 2007
Number of pages:	50 pages
Keywords:	Electronic aiming, Optoelectronics, FM-transmitter
Degree programme:	Computer Science
Specialisation:	Telecommunications engineering
Thesis supervisor:	Principal Lecturer Jorma Punju
<p>The subject of this thesis was to research different methods to implement electronic aiming device to visually impaired persons air rifle shooting. After the research, the best solution to implement the aiming device was chosen and built. During the research there was discovered different ways to sense the aiming point, how to implement the dependence of the aiming point and the audio information that is given to the shooter.</p> <p>The thesis included lots of electronical component research and how these components would fit to this specific purpose. One of the most important research areas during this thesis was to search ways to use wireless data transmission to carry audiosignal from the device to the shooters headphones.</p> <p>Basically the most potential solutions were simulated by the programs which were appropriate to the purpose. There were also cases that were not possible to simulate and the results had to test and measure in real environment.</p> <p>The results of this thesis are that there are several ways to implement the aiming device, but as normally, the easiest solution was built.</p>	

ALKUSANAT

Tämä insinöörityö, näkövammaisten ilmakivääriammuntatähtäinlaitteen kehitys, on tehty omana työnä Tampereen ammattikorkeakouluun. Työn tarkoituksena ei kuitenkaan ole vain ja ainoastaan saada tutkintotyö tehdyksi, vaan tarkoituksena on kehittää näkövammaisten ampujien tähtäyslaitteistoa, jotta ammunta muistuttaisi vielä nykyistäkin enemmän oikeaa ammuntaa.

Haluankin kiittää tasapuolisesti kaikkia, jotka ovat osallistuneet laitteiston kehittämiseen kanssani, kiitos kuuluu perheelleni ja ystäväilleni, jotka ovat toimineet tukijoukkoinani työn aikana. Erityinen kiitos kuuluu työn ohjanneelle yliopettaja Jorma Punjulle, ilman hänen apua ja tietämystä työtä ei olisi saatu valmiiksi. Näiden lisäksi osoitan kiitokseni myös Tampereen ammattikorkeakoululle, joka antoi tukensa projektiin rahoituksen muodossa. Viimesenä muttei vähäisimpänä osoitan kiitokset laboratoriomestari Hannu Valkamalle antamastaan avusta mekaniikan toteutuksessa.

Tampereella 25.huhtikuuta 2007

Toni Kettunen

Teiskontie 18 b 17

33540 Tampere

LYHENNE- JA SYMBOLILUETTELO

Symbolit

β	Modulaatioindeksi
Δf	Deviaatio
λ	Aallonpituus

Lyhenteet

BW	Bandwidth, kaistanleveys
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor
ERC	European Radiocommunications Committee
ERP	Effective Radiated Power, efektiivinen säteilyteho
IC	Integrated Circuit
LDR	Light Dependent Resistance, valovastus
TTL	Transistor-Transistor Logic
WBFM	Wideband Frequency Modulation, laajakaistainen taajuusmodulaatio

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	i
ABSTRACT	ii
LYHENNE- JA SYMBOLILUETTELO	iv
SISÄLLYSLUETTELO	v
1. JOHDANTO.....	1
1.1 Näkövammaisten ammunta.....	1
1.2 Laitteisto	2
1.3 Työn tavoitteet ja sisältö	3
2. ELEKTRONIIKAN SUUNNITTELU	4
2.1 Toiminnallinen määrittely.....	4
2.2 Lohkokaaviosuunnittelu.....	5
2.3 Tähtäyspisteen tunnistus	6
2.3.1 Valovastus	6
2.3.2 Fotodiodi.....	8
2.3.3 Fotodiodi-transimpedanssivahvistin.....	9
2.3.4 Fototransistori.....	11
2.4 Äänen muodostus.....	12
2.4.1 Tähtäinlaitteen taajuusalue	12
2.4.2 LM331 äänigeneraattorina.....	13
2.5 TSL230LF, Light-to-Frequency-muunnin.....	15
2.6 Äänen suodatus	17
2.7 Äänensiirto ampujalle	20
2.7.1 FM-lähetin	20
2.7.1.1 FM-modulaatio	21
2.7.1.2 Rajoitteet FM-lähettimelle.....	26
2.7.1.3 FM-lähetin piirejä	27
2.7.2 Infrapunälähetin.....	27
2.8 Jännitelähde	29
2.8.1 Paristot ja akut	29
2.8.2 7805-regulaattori	30
2.8.3 TPS76933-regulaattori	31
2.9 Suojauselektronikka.....	32
2.10 Laboratoriomittaukset	33
2.10.1 FM-lähetin mittaukset.....	33
2.10.2 LM331-piirin mittaukset.....	35
2.10.3 TSL230-piirin optiset mittaukset	36
3. PIIRILEVYN SUUNNITTELU	41
3.1 Vaatimukset piirilevylle.....	41
3.2 Piirilevyn suunnittelu Eagle:lla.....	41
4. MEKANIIKAN SUUNNITTELU	46
5. LOPPUTULOKSET	47
LÄHDELUETTELO	50

1. JOHDANTO

1.1 Näkövammaisten ammunta

Ammunta on erittäin suosittu harrastus näkövammaisten keskuudessa. Ammunta ei kuitenkaan onnistu ilman apuvälineitä ja sen vuoksi tämäkin päättötyö aloitettiin. Ammunta perustuu kuuloaistin käyttöön näköaistin sijasta. Tähtäys perustuu siihen, että taulu valaistaan kirkkaalla lampulla niin, että valon kirkkain piste osuu taulun keskelle. Tähdätessään maalitauluun ampuja kuulee tietyn taajuisen äänen ja tähtäyksen siirtyessä kohti keskustaa äänisignaalin taajuus kasvaa. Ja päinvastoin taas maalitaulun keskustasta poispäin siirryttäessä ampujaa ohjaavan äänisignaalin taajuus alkaa madaltua. Tähtäimen osoittaessa jonnekin muualle kuin maalitauluun ei kuulokkeista saa kuulua lainkaan äänisignaalia, koska muussa tapauksessa tähtäin saattaisi ampujan ja muut ampumaradalla olevat henkilöt vaaraan.

Ammuntaetäisyys on kymmenen metriä, mutta tauluna käytetään normaalin ilmakivääritaulun sijasta ilmapistoolitaulua, näin menetellään taulun valaisun vuoksi. Maalitauluna voidaan käyttää joko normaalia ilmapistoolitaulua, tai maalitaulua jonka väritys on käänteinen normaaliin ilmakivääritauluun verrattuna, jotta valon intensiteetti olisi voimakkaampi maalitaulun keskipisteessä. Näitä tauluja kuitenkin käytetään varsin harvoin, mikä voisi olla merkki siitä, että olemassa olevien tähtäinlaitteiden tunnistama aallonpituusalue olisi lähempänä infrapuna-aluetta kuin ihmisen silmän näkemän aallonpituusalueen alueella.

Ammunta on heikkonäköisten ja sokeiden harrastajien keskuudessa vakavasti otettu harrastus ja varsinkin Suomessa ammunnan taso on erittäin korkea. Ilmakivääriammusta järjestetäänkin vuosittain SM-kilpailut, joissa kilpailijat on luokiteltu eri ryhmiin näkövammaisuuden vaikeusasteen mukaan. Myös naisille löytyy oma sarja. Tulostasoa on noussut huimaa vauhtia ja parhaille ampujille tarjotaankin mahdollisuutta osallistua valmennusryhmään, jota ohjaa oikea ampumalajien valmentaja. Tulostasosta voitaneen sanoa sen verran, että Suomen ennätys polviasennosta suoritetusta ammunnasta kuudellakymmenellä laukauksella on 597 pistettä. Tästä voi päätellä, ettei ammunta ole mitään ”sinne päin”-ammuntaa vaan totista totta. Tämä asettaa laitteistollekin sellaiset tarkkuusvaatimukset, ettei suurilla komponenttien toleransseilla ole toivoakaan, että näihin lukemiin

päästäisiin. Toisaalta komponenteissa oleva epätarkkuus voi ennalta ehkäistä nopeista ja ohimenevistä virheistä aiheutuvaa audiaalista virheohjausta.

Ensimmäiset tähtäyslaitteet tulivat Suomeen noin kolmekymmentä vuotta sitten ja ampujamäärät ovat lisääntyneet tasaisesti siitä lähtien. Tällä hetkellä ammuntaa harrastetaan lähinnä Pohjoismaissa ja Keski-Euroopassa, mutta kiinnostusta harrastusta kohtaan ovat osoittaneet muun muassa Australia ja Iran.

Jotta harrastajamäärät kasvaisivat, olisi suotavaa, että markkinoilla olisi useampia tähtäinlaitteita valmistavia yrityksiä, jotta tähtäinlaitteiden taso ja varsinkin koko ja sulautuvuus paranisi entisestään. Tässä työssä annetaankin suuri painoarvo vaihtoehtoisille toteutustavoille, työn yksi suurimmista tavoitteista on saada elektroniikka sulautettua osaksi kiikaria ja äänen siirto tähtäyselektroniikasta ampujalle ja mahdolliselle avustajalle langattomaksi. Jotta tämä kaikki olisi mahdollista, on komponenttien määrä saatava alhaiseksi ja komponenttien olisi mahdollisuuksien salliessa oltava pintaliitoskomponentteja tavallisten läpivientikomponenttien sijasta koon ja massan minimoimiseksi.

1.2 Laitteisto

Tällä hetkellä laitteisto koostuu aseeseen asennettavasta kiikarista, johon on asetettu tähtäyspisteen tunnistava optokomponentti, joka todennäköisesti on joko fototransistori tai fotodiodi. Kiikarista lähtee kaapeli ”boksiin”, johon on sijoitettu järjestelmän elektroniikka. Elektroniikka muuntaa kiikarilta tulleen jännitteen jännitettä vastaavaksi taajuudeksi. Kun jännite on muutettu boksissa taajuudeksi, siirretään audiotaajuinen signaali audiokaapelia pitkin kuulokkeisiin. Nykyiset järjestelmät antavat käyttäjälle mahdollisuuden säätää audiotaajuutta sekä äänenvoimakkuutta.

Nykyisten järjestelmien suurin ongelma tai paremminkin heikkous on tällä hetkellä aseesta tuleva kaapeli ja boksista tuleva kaapeli, jotka vaikuttavat tietyissä tapauksissa ammuntaan yllättävän paljon. Syy tähän on se, että kaapelit saattavat vaikuttaa aseeseen tasapainoon, jolloin ase on pystytasosta tarkasteltuna hieman vinossa ja tämän myötä luoti ei mene tähdättyyn pisteeseen, vaikka äänisignaali olisikin samantaajuista kuin kymppiin tähdättäessä.

1.3 Työn tavoitteet ja sisältö

Työn päällimmäinen tavoite on tutkia mahdollisuuksia toteuttaa tähtäin niin, että elektroniikka on sulautettu kiikarin yhteyteen, ja ajan salliessa tutkitaan mahdollisuuksia toteuttaa audion siirto langattomasti ampujan kuulokkeisiin. Tällä hetkellä potentiaalisin toteutusvaihtoehto langattomaan audion siirtoon on pienitehoinen FM-lähetin. FM-lähetin on paras toteutusvaihtoehto muun muassa siitä syystä, että FM-lähetteen voi vastaanottaa lähestulkoon millä laitteella tahansa, verrattuna BlueToothiin tai vaikkapa Infrapunälähetteeseen.

Äänen muodostuksen kannalta tässä työssä keskitytään LM331- ja LM555-piirien käyttömahdollisuuksiin audiotaaajuuden muodostuksessa, mutta erittäin potentiaalinen vaihtoehto on Light-to-frequency-muunnin. LTF-muunnin muuntaa valovoimakkuuden suoraan taajuudeksi, ainoa avoin kysymys tämän komponentin käytölle on, sopiiko komponentti tähän tarkoitukseen taajuusalueeltaan, johon ei voida vaikuttaa ulkoisilla komponenteilla.

Tähtäyspisteen tunnistuksessa keskitytään lähinnä fotodiodin ja fototransistorin käyttömahdollisuuksiin. Tutkimuksessa tutkitaan myös yllä mainittujen komponenttien johdannaisia, kuten transimpedanssivahvistimella varustettuja fotodiodeja.

Piirilevysuunnittelussa käydään läpi piirilevysuunnittelun perusteet ja tutustutaan seikkoihin, jotka vaikuttavat piirilevysuunnitteluun. Tähän vaikuttavat muun muassa komponenttien sijoittelu piirilevylle ja komponenttien kotelointityypit, jotta komponenttien liitokset piirilevylle sattuisivat kohdalleen. Piirilevysuunnittelussa on osattava ottaa huomioon myös mekaaniset seikat, kuten kotelo, johon piirilevy sijoitetaan. Tämä vaikuttaa muun muassa siihen kuinka komponentit sijoitellaan piirilevylle.

Mekaniikan suunnitteluosiossa tutkitaan kuinka tähtäin ja elektroniikka saadaan sovitettua helposti toisiinsa. Mekaniikan suunnittelu on sidoksissa niin elektroniikan kuin piirilevyn suunnitteluun. Mekaniikan suunnittelulla voidaan vaikuttaa esimerkiksi laitteen käyttöliittymään. Aivan lopuksi mietitään, mikä ei toteutunut, missä onnistuttiin ja mitä voidaan parantaa.

2. ELEKTRONIIKAN SUUNNITTELU

Tässä kappaleessa käydään läpi elektroniikan suunnittelua aivan toiminnallisesta määrittelystä lähtien. Tämä vaihe sisältää elektroniikan suunnitteluun liittyvän suunnittelun lohkokaaavion suunnittelusta lähtien aina komponenttien toiminnallisen testaukseen ja sopivuuteen laitteeseen. Lopuksi eri komponentit yhdistetään laitteeksi ja tarkastellaan laitteen toimintaa kokonaisuutena. Laitteen toiminnallisuutta tarkastellaan simulaatioilla ja käytännön laboratoriomittauksilla.

2.1 Toiminnallinen määrittely

Laitteen täytyy kyetä tuottamaan audiotaajuista signaalia ampujalle, vaikka olosuhteet muuttuisivatkin. Nämä olosuhteen muutokset sisältävät esimerkiksi taulun valaisevan valonlähteen muuttumisen toiseksi tai vaikkapa ympäristöä valaisevan normaalin valaistuksen lisääntymisen tai vähenemisen. Laitteen täytyy kyetä toimimaan niin, että laite antaa ampujalle maalitaulun keskipisteestä sellaisen äänisignaalin, joka on tunnistettavissa oleva ja eroaa muuhun pisteeseen tähdätystä äänisignaalista. Ammunnan tapahtuessa samassa tilassa olosuhteiden pysyessä muuttumattomina ei audiosignaali saa muuttua tietyssä tähtäyspisteessä vaan sen täytyy pysyä kantataajuudeltaan muuttumattomana.

Laitteessa täytyy olla äänenvoimakkuuden säätömahdollisuudet. Mahdollisuuksien mukaan audiosignaalin taajuutta olisi pystyttävä säätämään, jotta ampuja voisi säätää mieleisensä taajuuden, jolla ampuu. Tämä ei kuitenkaan ole toiminnan kannalta välttämätöntä, ja jos tällaista säätöä ei laitteeseen saada, voidaan se jättää pois.

Jos laitteeseen tulee FM-lähetin, tarvitaan laitteeseen myös radiolähettimen taajuudensäädölle oma säädin, jotta jokainen ampuja saa säädettyä itselleen oman vapaan taajuuden. Lähettimen teho on saatava säädettyä niin alhaiseksi, ettei lähetys kuulu paria metriä kauemmaksi, jotta vältetään keskeismodulaatiolta ja muilta häiriöiltä.

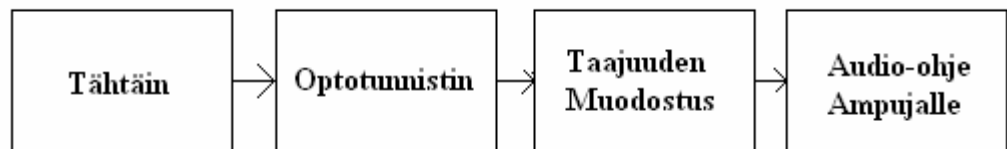
Elektroniikka on saatava suunniteltua siten, että se on tasapainossa kiikarin pitkittäissuunnassa. Jos niin ei ole, ase on tasapaino voi kärsiä ja ammuntatulokset heikkenevät. Jotta näin ei pääsisi tapahtumaan, täytyy kaikki suurimmat

komponentit sijoittaa joko keskilinjaan tai ne täytyy jakaa tasapuolisesti tasapainoakselin molemmille puolille, niin ettei tasapaino muutu.

2.2 Lohkokaaviosuunnittelu

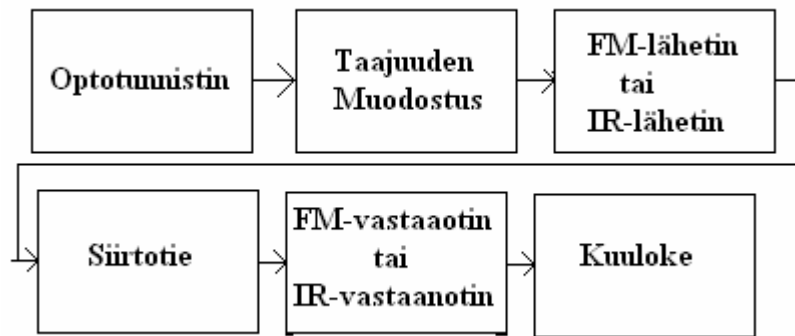
Tähtäimen suunnittelu aloitettiin lohkokaaviosuunnittelulla, jossa tarkoituksena on määritellä laitteen erilaiset toiminnalliset kokonaisuudet. Lohkokaavio määriteltiin sillä tarkkuudella kuin se on järkevää, eli tässä työvaiheessa ei vielä otettu kantaa esimerkiksi siihen, kuinka jännite syötetään laitteistoon tai millaiset jännitteet kussakin toimintalohkossa täytyy olla. Yleisestikin lohkokaaviosuunnittelu on lähempänä yleisen tason määritelmää, eikä siinä muutenkaan oteta kantaa lohkojen sisäisiin kytkentöihin tai muihun vastaaviin seikkoihin. Lohkokaavio kuitenkin toimii eräänlaisena punaisena lankana suunnittelulle, koska siitä voidaan työn aikana selvittää laitteen looginen toiminta.

Lohkokaavioita voi muodostua useita, sen mukaan halutaanko jotain tiettyä lohkoa tutkia sisältä vielä tarkemmin lohkokaaviotasolla, koska yleensä loogisten lohkojen sisällä saattaa olla monimutkaisia toimintoja, joilla saadaan toteutettua jokin tietty looginen kokonaisuus.



Kuva 1. Yleinen lohkokaavio tähtäinlaitteesta

Kuvassa 1 voidaan nähdä tähtäinlaitteen yleinen lohkokaavio, josta suunnittelu aloitettiin. Kyseistä lohkokaaviota voidaan vielä tarkentaa muun muassa taajuuden muodostuksen jälkeisillä lohkoilla, joissa otetaan kantaa esimerkiksi audion siirtoon liittyvillä lohkoilla. Kuvasta 2 voidaan nähdä taas hieman tarkennettu lohkokaavio elektroniikan suunnitteluun liittyvänä, joka sisältää kuvassa 1 esitetystä kaaviosta kaikki lohkot pois luettuna tähtäin. Niin on sen vuoksi, ettei tähtäin ole elektroninen komponentti, vaan optinen, ja täten se ei ole oleellinen elektroniikan kannalta tältä osin.



Kuva 2. Elektroniikan lohkokaavio

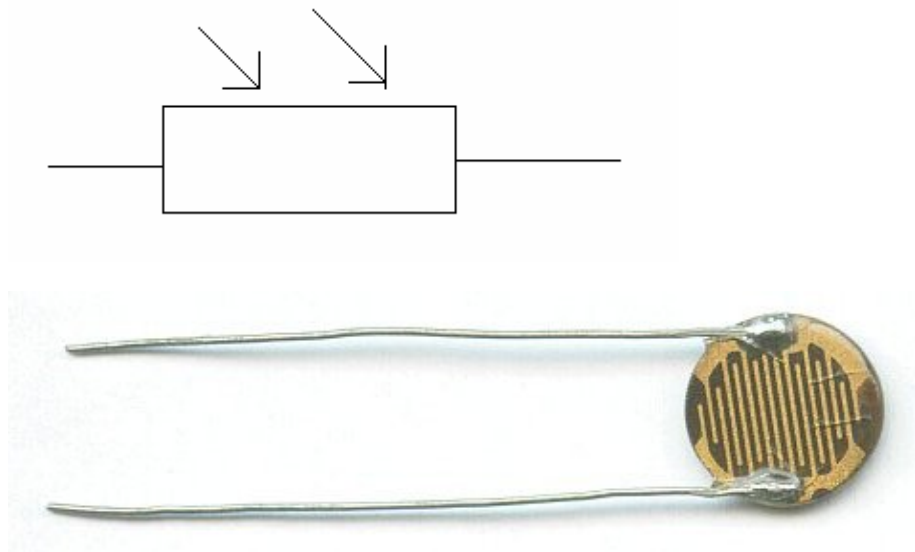
Näiden yllä olevien lohkokaavioiden perusteella aloitettiin tähtäinlaitteen suunnittelu ja komponenttien valinta.

2.3 Tähtäyspisteen tunnistus

On olemassa useita eri komponentteja, jotka reagoivat valoon sillä tavoin, että niitä voidaan käyttää hyväksi tähtäinlaitteessa. Tässä kappaleessa tutustutaan komponentteihin, jotka voisivat soveltua tällaiseen sovellukseen. Huomioitava kuitenkin on, että tässä kappaleessa komponentit käsitellään pelkästään elektronisen toiminnan osalta, koska esimerkiksi fototransistorit vaihtelevat keskenään erilaisten ominaisuuksiensa perusteella, esimerkkinä vaikkapa aallonpituusalue.

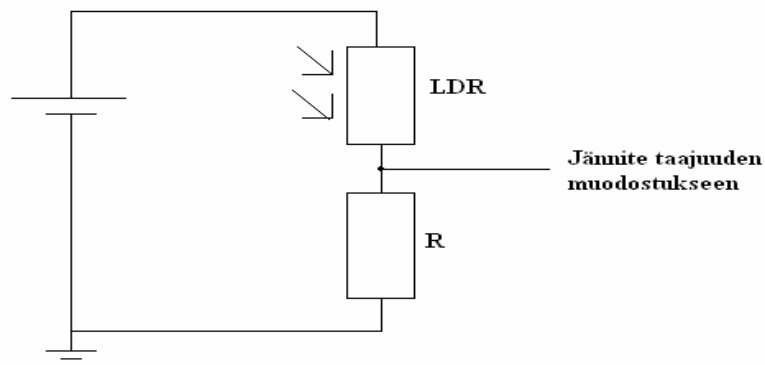
2.3.1 Valovastus

Valovastus reagoi valoon siten, että valoisassa sen resistanssi on pieni, tyypillisesti vähemmän kuin 100 ohmia. Pimeässä resistanssi nousee erittäin suureksi, jopa megaohmien suuruusluokkaan riippuen valovastuksen maksimiresistanssiarvon mukaan. Kuvassa 3 on esitetty valovastuksen piirrosmerkki ja valokuva valovastuksesta.



Kuva 3. Valovastuksen piirrosmerkki ja valokuva

Valovastusta voisi käyttää tähtäinlaitteessa tähtäyspisteen tunnistuksessa perinteisessä jännitteenjakokytkennässä, joka koostuu kahdesta vastuksesta, joista toinen olisi valovastus. Valovastuksen resistanssin muuttuessa muuttuu myös valovastuksen yli jäävä jännite, jolloin muuttuu myös vakioresistanssisen vastuksen yli jäävä jännite. Tällä vakioresistanssisen vastuksen yli jäävällä jännitteellä voitaisiin ohjata komponenttia, joka muuttaa jännitteen taajuudeksi. Kuvassa 4 on esitetty esimerkkikytkentä, josta nähdään kuinka valovastusta voitaisiin käyttää tähtäinlaitteessa.



Kuva 4. Esimerkkikytkentä valovastuksen käytöstä

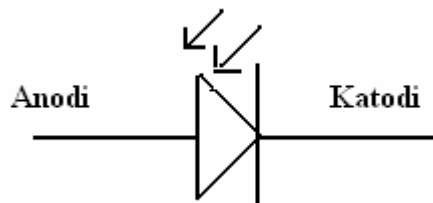
Valovastuksen käyttöä kuitenkin rajoittaa valovastuksen hidas reagointi valoon. Tätä ilmiötä kutsutaan elpymisnopeudeksi. Tyypillisesti tämä nopeus on noin $200\text{k}\Omega/\text{s}$. [2]

2.3.2 Fotodiodi

Fotodiodi on valolle herkkä diodi. Estosuuntaan esijännitetyin puolijohdediodin pn-liitosrajapinta on tyhjä varauksenkuljettajista. Diodin läpi ei tällöin juuri kulje virtaa. Jos tähän puolijohteen tyhjennysalueeseen tulee valokvantti, joka absorboituu ja käyttää energiansa elektronin nostamiseen valenssivyöltä johtavuusvyöhön, syntyy vapaa varauksenkuljettaja, joka aiheuttaa sähkövirran diodin läpi. Diodin vuotovirta on suoraan verrannollinen valon fotonivuohon eli valon intensiteettiin. Jos diodin yli ei ole esijännitettä, synnyttävät valon generoimat varauksenkuljettajat diodin napoihin jännitteen. P-puoli, anodi, on positiivinen napa ja N-puoli, katodi, negatiivinen napa. Tällä tavoin käytettyä diodia kutsutaan myös valokennoksi tai aurinkoparistoksi.

Kaikki PN-liitokset ovat luonnostaan herkkiä valon vaikutukselle, mutta fotodiodeissa on järjestetty esteetön valon pääsy puolijohdepinnalle pienen linssin kautta, joka keskittää valon rajapintaan. [3]

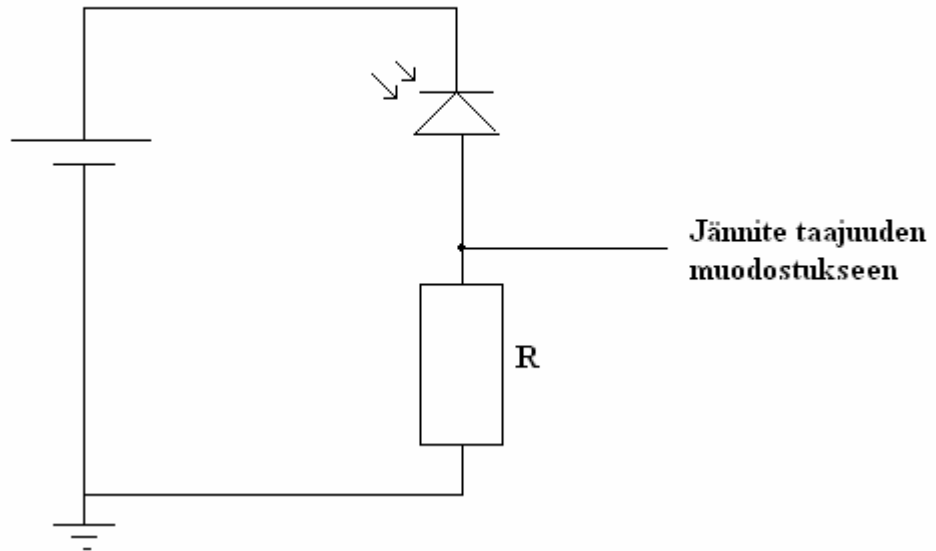
Kuvassa 5 nähdään fotodiodin piirrosmerkki.



Kuva 5. Fotodiodin piirrosmerkki

Fotodiodin käyttö tähtäinlaitteessa tapahtuisi siten, että fotodiodi kytketään estosuuntaan jännitteeseen. Valovoimakkuuden lisääntyessä suurenee myös fotodiodin läpi kulkeva virta. Tällä virralla voitaisiin ohjata vastuksen yli jäävää jännitettä, jolla taas voidaan ohjata taajuuden muodostavaa komponenttia, esimerkiksi U/f-muunnin-piiriä. Fotodiodin valinnassa on otettava huomioon sen havaitsema aallonpituus ja herkkyys, jotka vaikuttavat fotodiodin läpi kulkevaan virtaan ja tämän myötä myös syntyvään taajuuteen. Fotodiodin valintaan voi myös vaikuttaa diodin ”näkökentän” suuruus, joka normaaleissa fotodiodeissa on tyypillisesti noin 60...120 astetta, mutta on olemassa myös vielä erikoisempia fotodiodeja, joiden valon havaitsemiskenttä rajoittuu alle 20 asteeseen.

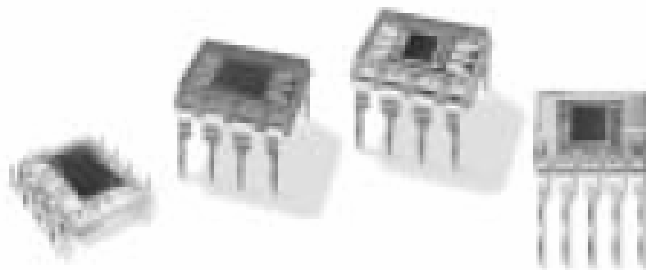
kuvassa 6 on esitetty esimerkikykentä fotodiodin käytöstä tähtäinlaitteessa.



Kuva 6. Esimerkkikykentä fotodiodin käytöstä

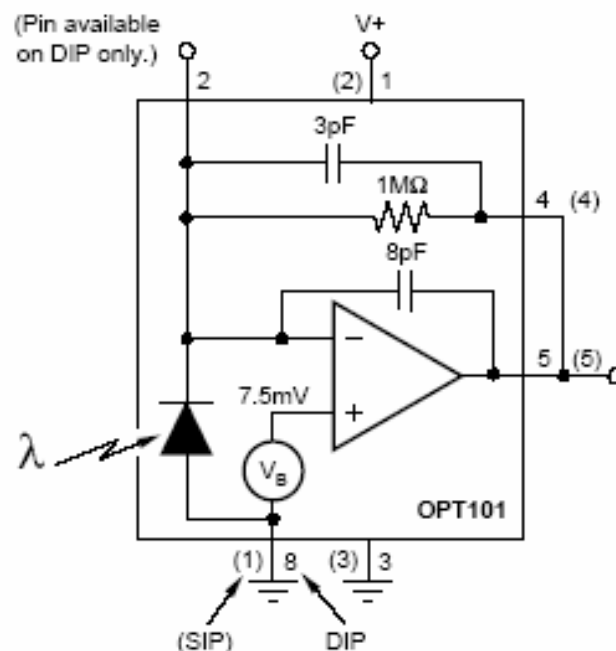
2.3.3 Fotodiodi-transimpedanssivahvistin

Fotodiodi transimpedanssivahvistimella on IC-piiri, jossa itsessään on sekä fotodiodi että transimpedanssivahvistin. Transimpedanssivahvistin tarkoittaa sitä, että vahvistimeen menee sisään virtaa, mutta ulostulo on jännitettä, eli jännitevahvistinta ohjataan virralla. Esimerkki tällaisesta piiristä on Burr-Brown:n OPT101-piiri. Kuvassa 7 on esitetty erilaisia koteloointeja kyseisestä OPT101-piiristä.



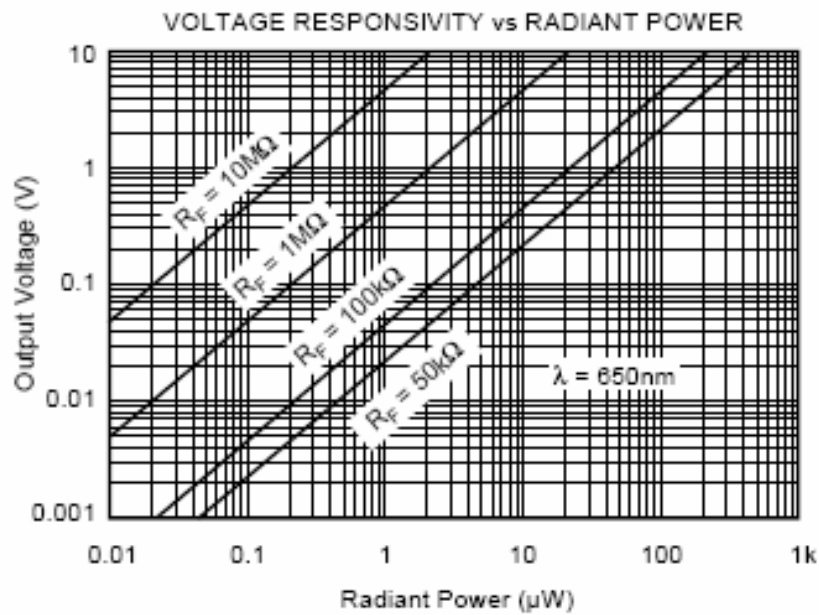
Kuva 7. OPT101-piirin eri koteloointeja [4]

OPT101:n ulostulojännite kasvaa lineaarisesti verrattuna valon intensiteettiin. Integroidun piirin hyötynä on muun muassa diskreeteillä komponenteilla toteutettuun kytkentään verrattuna vuotovirtojen väheneminen. Tällaiset piirit on tarkoitettu ensijaisesti erilaisiin lähestymis- ja paikka-antureihin, mutta piiriä voidaan käyttää myös savunilmaisimissa. OPT101 sopisi tähtäinlaitteeseen hyvin ja tämä komponentti menee fotodiodin ja fototransistorin edelle valintaprosessissa, koska esimerkiksi biasointia ei tarvitse tehdä, kuten edellä mainituilla komponenteilla. Kuvassa 8 on esitetty OPT101-piirin sisäinen kytkentä, ja on mahdollista että piiri toimisikin ilman ulkoisia komponentteja riittävän hyvin muodostaakseen tarpeeksi suuren ohjausjännitteen taajuuden muodostukseen.



Kuva 8. OPT101-piirin sisäinen kytkentä [4]

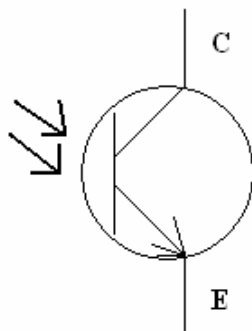
OPT101-piirin ulostulo jännitettä voidaan joko suurentaa tai pienentää ohittamalla piirin sisäinen takaisinkytkentä, joka tapahtuu nastasta 4. Ulkoinen takaisinkytkentä voidaan muodostaa nastojen 2 ja 4 välille. Piirin takaisinkytkentävastuksen resistanssin vaikutusta voidaan tutkia kuvassa 9 esitetystä käyrästä.



Kuva 9. Takaisinkytkentävastuksen vaikutus OPT101-piirin ulostulojännitteeseen [4]

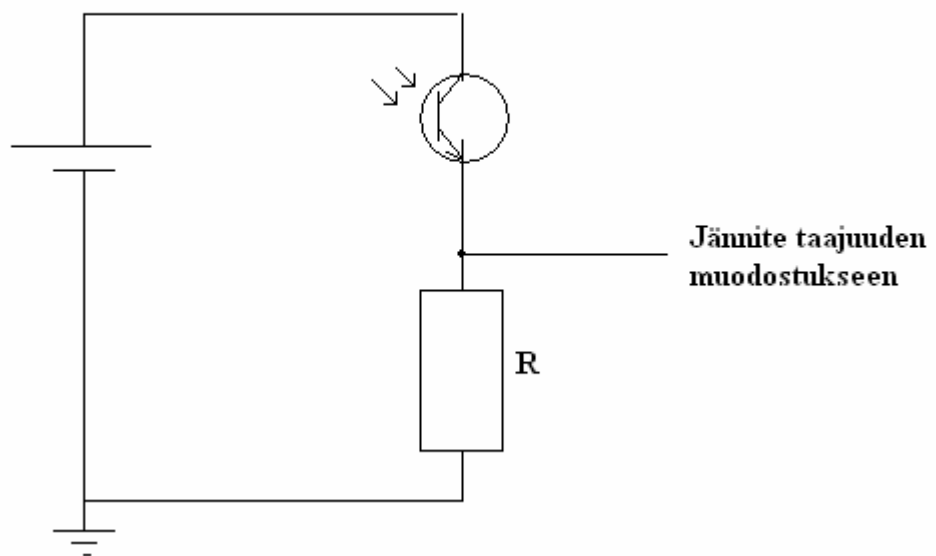
2.3.4 Fototransistori

Fototransistori on transistori, jota ohjataan valon intensiteetillä. Tämä tarkoittaa sitä, että fototransistorissa ei välttämättä ole konkreettista kantanastaa ollenkaan, vaan sen tilalla on kanta-emitteriliitoksen muodostama fotodiodi, joka ohjaa transistorin toimintaa. Osa fototransistoreista on varustettu kannalla, jotta transistorin toimintapisteen asettelu olisi mahdollista. Fototransistorin toiminnan ymmärtää paljon paremmin piirrosmerkistä, jos transistorin toiminta on ennestään tuttu. Kuvassa 10 on esitetty fototransistorin piirrosmerkki.



Kuva 10. Fototransistorin piirrosmerkki

Fototransistoria voidaan käyttää tähtäyspisteen tunnistuksessa siten, että kollektori kytketään käyttöjännitteeseen ja emitteri vastuksen kautta maahan. Valon intensiteetin lisääntyessä suurenee myös kantavirta, joka lisää myös kollektorivirtaa virtavahvistuksella kerrottuna. Emitterillä virta on kanta- ja kollektorivirran summan suuruinen. Tämä virta aiheuttaa emitterivastuksen napojen välille potentiaalieron, jolla voidaan ohjata taajuuden muodostavaa komponenttia. Kuvassa 11 on esitetty kytkentä, joka on toteutettu edellä mainitulla tavalla.



Kuva 11. Esimerkkikytkentä fototransistorin käytöstä

2.4 Äänen muodostus

Äänen muodostukseen löytyy elektroniikasta useita erilaisia toteutustapoja. Tässä kappaleessa tutustutaan erilaisiin yksinkertaisiin tapoihin tuottaa audiotähtiä. Komponenttien tarkastelussa pääpaino asetetaan LM331-piirille, koska tähän piiriin on perehdytty parhaiten.

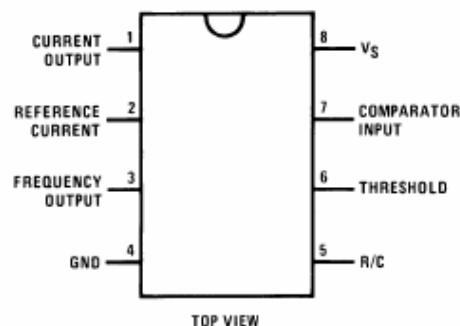
2.4.1 Tähtäinlaitteen taajuusalue

Tähtäinlaitteen tuottaman audion taajuusalueen täytyy olla sellaisella taajuusalueella, että ihmisen korva kykenee huomaamaan pienenkin taajuuden muutoksen. Taajuusalueen maksimitaajuuden olisi suotavaa olla alle kilohertsin suuruinen, koska komponenttien jännitteen tai taajuuden muutos on yleensä lineaarinen prosessi toisin kuin ihmisen kuulo, joka taas on logaritminen. Tämä

tarkoittaa sitä, ettei ihmisen korva huomaa tietyn suuruista taajuuden muutosta suurilla taajuuksilla kuten alhaisilla taajuuksilla. Tähtäinlaitteen kehityksen yhteydessä laboratoriomittauksissa osoitettiin, että taajuuden maksimi arvo olisi hyvä saada asettumaan noin 700Hz:n tietämille. Tällöin korva aistii vielä pienenkin taajuuden muutoksen todella helposti ja tähtäys onnistuu siten paljon paremmin. Kun taajuutta nostettiin 1kHz:iin, niin havaittiin, ettei korva tahdo havaita edes kymmenien hertsien muutoksia äänessä. Toki tässä on otettava huomioon virhemahdollisuus, ettei havaitsijan korva ole täysin toimintakunnossa, mutta ei sitä voida olettaa ampujaltakaan.

2.4.2 LM331 äänigeneraattorina

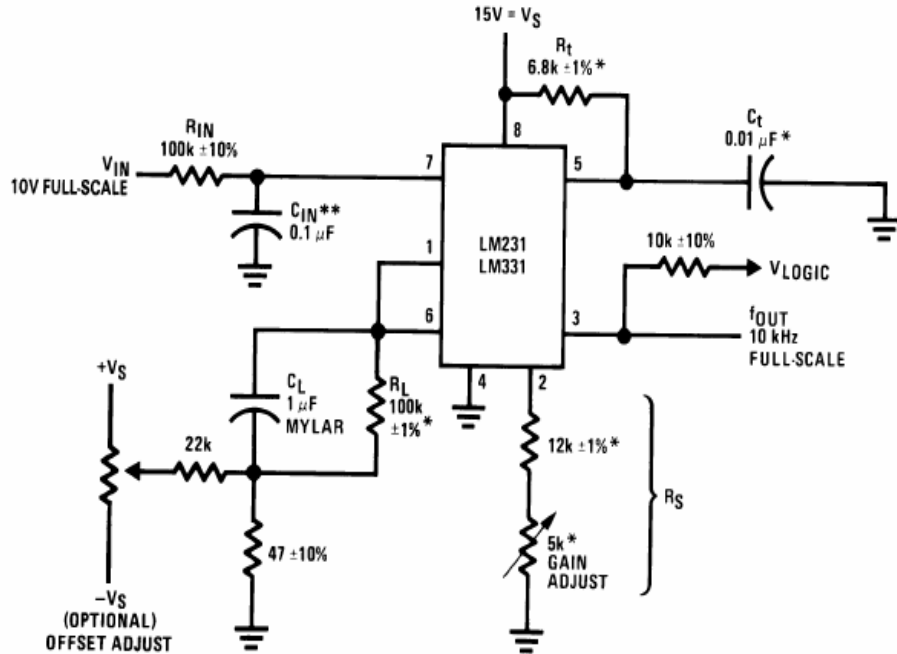
LM331 on IC-piiri, joka muuntaa jännitteen taajuudeksi. Piiri ei kuitenkaan tuota siniaaltoja, eikä myöskään puhdasta kanttaaltoja, vaan se tuottaa pulsseja, joiden pulssisuhde ja taajuus muuttuvat taajuuden muuttuessa. Piirin tuottaman signaalin kantataajuus kasvaa kuitenkin lineaarisesti, vaikka signaalin muoto aikatasossa muuttuu pulssisuhteeltaan. LM331 tarjoaa kuitenkin erityisen tarkan vaihtoehdon taajuuden muodostamiseksi jännitteestä, ja se onkin paras vaihtoehto audiotaajuisen signaalin toteuttamiseen. Kuvassa 12 voidaan nähdä LM331-piirin nastajärjestys.



Kuva 12. LM331-piirin nastajärjestys [5]

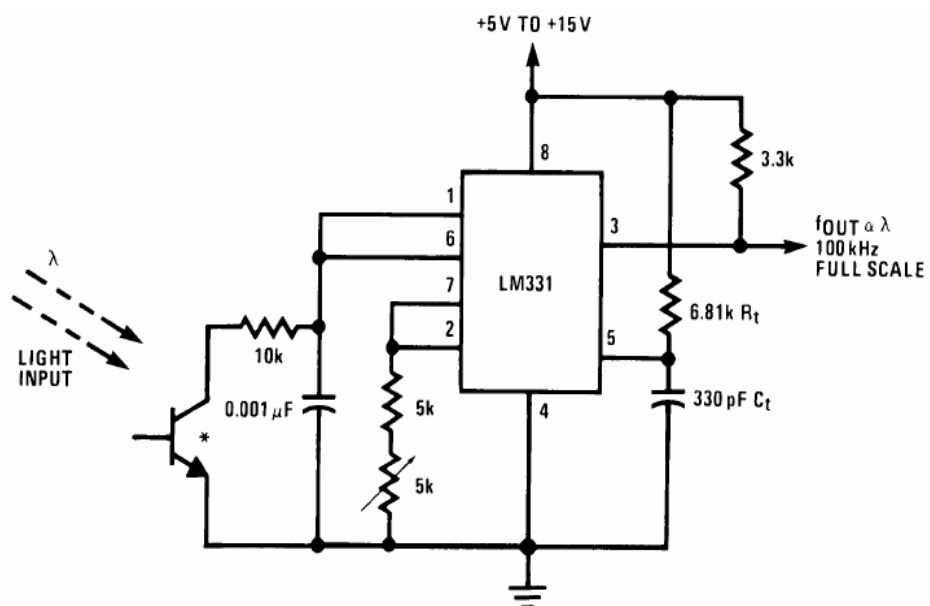
Piirin tuottamaan taajuuteen voidaan vaikuttaa ulkoisella RC-piirillä, ylärajataajuus kuitenkin on 100kHz, kun alarajataajuus riippuu pelkästään suunnittelijan valitsemasta taajuudesta. National Semiconductor tarjoaa datalehdessään monia lähes valmiita mallikytkeä piirille, jotta suunnittelija voisi niiden avulla ymmärtää piirin toiminnan ja monimuotoisuuden huomattavan paljon paremmin.

Kuvista 13 ja 14 löytyy kytkentöjä joista laboratoriomittauksissa sovelluksia tähtäinlaitteeseen sopivina sovelluksina.



Kuva 13. Mallikytcentä LM331-piirin käytöstä [5]

Yllä oleva kytkentä muuntaa jännitteen taajuudeksi. Kuvasta voi nähdä piirin resonanssitaajuuteen vaikuttavat RC-piirin komponentit kuvan oikeassa ylälaidassa. Komponentit on merkitty tunnuksin R_t ja C_t .



Kuva 14. LM331-piirin käyttö valon intensiteetin muuttamisessa taajuudeksi [5]

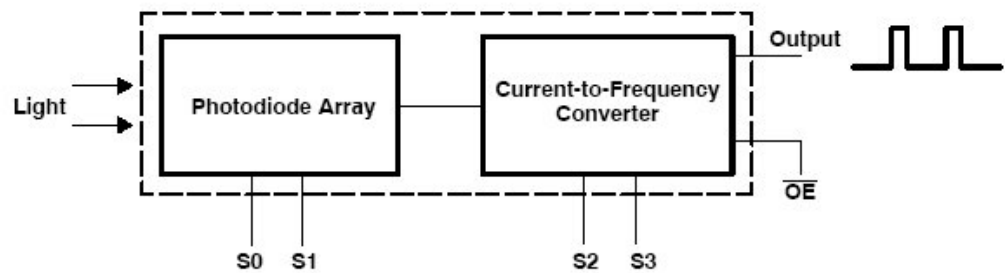
Kuvan 14 kytkennästä voi tehdä nopeasti analyysin, ettei piirin käyttö ole kovin monimutkaista. $3.3\text{k}\Omega$:n vastus oikeassa ylänurkassa on ylösvetovastus ulostulolle, koska muussa tapauksessa ulostulossa olevan transistorin kollektori jäisi avoimeksi. Komponentit R_t ja C_t ovat RC-piirin aikavakioon vaikuttavia komponentteja. Nastoista 2 ja 7 lähtevät $5\text{k}\Omega$:n vastus ja $5\text{k}\Omega$:n potentiometri vaikuttavat ulostulon vahvistukseen. Tämän jälkeen jäljelle jää enää fototransistori ja sen toimintaan liittyvät vastus ja kondensaattori.

LM331-piiri on paras vaihtoehto, jos tarvitaan sovellusta jossa jännitteellä halutaan ohjata ulostulon taajuutta. Piirillä voi toteuttaa muutakin kuin tähtäinlaitteeseen jännitteen taajuudeksi muuttavan kokonaisuuden. Jännitteen muuntoa taajuudeksi voidaan käyttää hyväksi erilaisissa tietoliikennesovelluksissa, joissa tiedonsiirto tapahtuu suurilla etäisyyksillä, koska taajuuden sisältämä informaatio on häiriösietoisempaa kuin amplitudin sisältämä informaatio. LM331-piirillä voidaan muuttaa informaatio takaisin taajuudesta amplitudimuotoiseksi informaatioksi, jolla voi taas ohjata laitetta, jota ei esimerkiksi pitkän välimatkan vuoksi voitu alun perin ohjata jännitteen amplitudilla.

2.5 TSL230LF, Light-to-Frequency-muunnin

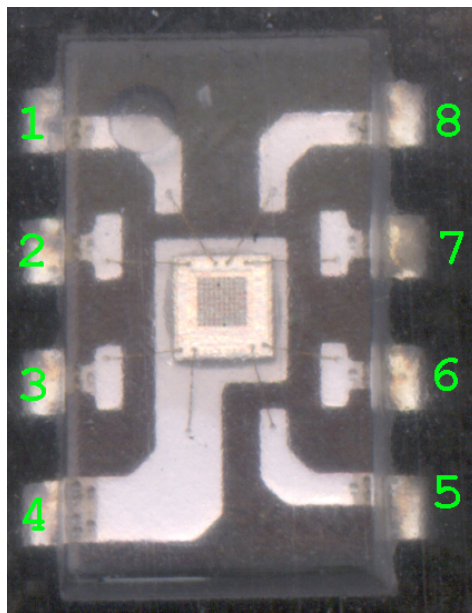
TSL230LF on IC-piiri joka muuttaa valon intensiteetin suoraan taajuudeksi. Ulostulevan taajuuden korkeutta voidaan säätää piiristä löytyvillä taajuuteen ja herkkyyteen vaikuttavilla nastoilla. Ulostulo voidaan ohjelmoida joko syöttämään symmetristä kanttiaaltoa, tai vaihtoehtoisesti lyhyitä pulsseja, joilla voidaan ohjata vaikka IR-lähetintä.

Piirin toiminta perustuu fotodiodiin. Fotodiodin läpikulkevalla virralla ohjataan ”Current-to-Frequency Converter”-piiriä, joka muuttaa virran taajuudeksi. Periaatteessa voitaisiin olettaa, että tähän piiriin on integroitu OPT101- ja LM331-piirit. Kuvassa 15 voidaan nähdä piirin toiminnallinen lohkokaavio.



Kuva 15. TSL230-piirin toiminnallinen lohkokaavio [6]

Piiri on läpinäkyvässä kotelossa, johon valo pääsee esteettä kulkemaan. Piirin keskeltä voi havaita mustan pisteen, joka on fotodiodi. Kuvassa 16 on esitetty valokuva TSL230-piiristä. kuvaan on myös lisätty piirin jalkojen nastajärjestys, joita käsitellään työssä myöhemmin.



Kuva 16. TSL230-piiri [6]

Nastat 1,S0, ja 2,S1, ovat diodin herkkydensäätönastat joilla herkkyyttä voi säätää joko 1-, 10- tai 100-kertaiseksi. Kyseisten herkkyuden säätöjen nastojen kytkentäohjeet on esitettyinä taulukossa 1. Nastat 7,S2, ja 8,S3 ovat vastaavasti piirin ulostulon syöttämän taajuuden skaalauksen määritykseen liittyvät nastat. Taajuuden saa skaalattua alkuperäisestä piirin sisäisestä taajuudesta taulukosta 2 löytyvillä nastojen kytkentäohjeilla. Taulukoissa esiintyvät tilat tarkoittavat nastan kytkemistä joko käyttöjännitteeseen tai maihin. L tarkoittaa tilaa Low, eli nastan

kytkemistä maihin, kun taas H tarkoittaa tilaa High, eli nastan kytkemistä käyttöjännitteeseen.

Taulukko 1. Fotodiodin herkkyydensäätäminen [6]

S1	S0	SENSITIVITY
L	L	Power down
L	H	1x
H	L	10x
H	H	100x

Taulukko 2. Ulostulon taajuudenskaalaus [6]

S3	S2	f _O SCALING (divide-by)
L	L	1
L	H	2
H	L	10
H	H	100

Jotta piirin toiminta olisi mahdollisimman hyvä, tulisi piirin sähkönsyöttö olla puskuroitu 0.01-0.1uF:n kondensaattorilla, joka täytyy sijoittaa mahdollisimman lähelle piiriä. Jotta ulostulossa olisi mahdollisimman vähän huojuntaa, täytyy teholähteen olla mahdollisimman pieni kohinainen. Piirin nasta numero 3, ulostulon aktivointi, tulisi yhdistää mahdollisimman lyhyellä kaapelilla toisiinsa, jotta kytkentä olisi paremmin kohinasuojattu. Ulostulo on suunniteltu ohjaamaan standardi TTL- tai CMOS-logiikan sisäänmenoja lyhyeltä etäisyydeltä. Piirien etäisyyden ylittäessä 30 senttimetriä, pitää TSL230:n ulostulon ja vastaanottavan piirin sisäänmeno puskuroida esimerkiksi operaatiovahvistimella.

Kyseinen piiri sopisi erinomaisesti tähtäinlaitteeseen, varsinkin kun ajatellaan tähtäinlaitteen toteutusta niin, että elektroniikka on sijoitettu kiikariin. Kyseinen piiri tarvitsee ainoastaan teholähteen ja sen vakavointiin yhden kondensaattorin. Ulostuloon on kuitenkin järkevää laittaa puskurointi, jotta välttyttäisiin ylimääräiseltä kohinalta ja muilta vastaavilta ongelmilta.

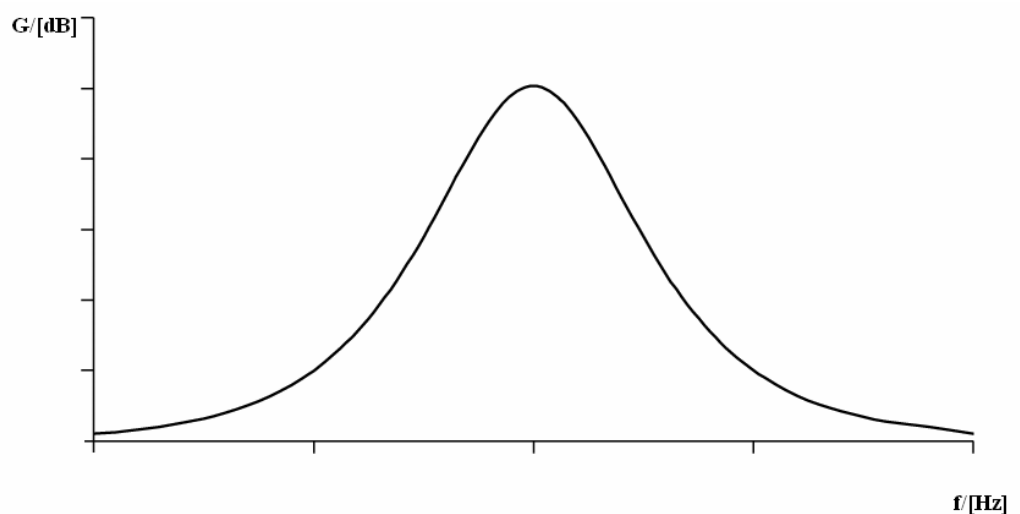
2.6 Äänen suodatus

Taajuuden muodostaman komponentin signaalia täytyy suodattaa, vaikka ihmisen korvaa kanttiaallonmuotoinen signaali ei varsinaisesti häiritsekään. Suodatusta

tarvitaan, ettei kanttiaallon sisältämät kantataajuuden harmoniset komponentit tukkisi radiotietä. Toisaalta voidaan myös ajatella, että audiosignaalin puhtaus on myös informatiivinen ampujalle. Signaalin ollessa matalataajuisista, kuulostaa epäpuhtaalta, mutta taajuuden noustessa signaalista putoaa suodatuksen takia pois harmonisia komponentteja ja ääni kuulostaa täten sinimuotoisemmalta. Signaalin suodattaminen on järkevintä toteuttaa RC-alipäästösuotimella. Suodattimen jyrkkyydeksi kannattaa asettaa korkeintaan toisen asteen suodin, jolloin luiskan jyrkkyys on -12 desibeliä per oktaavi.

Ylipäästösuodin voidaan laittaa suodattamaan signaalista pois turhat matalat taajuudet, jotka kuuluvat ampujan korvaan jokseenkin ärsyttävänä napsumisena. Tämä ei tietenkään ole pakollista, mutta olisi mahdollisuuksien salliessa suotavaa, koska esimerkiksi kilpailutilanteessa tällainen napsuminen voi aiheuttaa keskittymiskyvyn heikkenemistä ja tämän vuoksi suorituskky heikkenee. Napsuminen muuttuu korvin kuultavaksi signaaliksi noin 30Hz:n tienoilla, mutta ei ole mitään järkeä siirtää tällaisia taajuuksia, koska ammunnan kannalta matalat taajuudet eivät auta ampujaa millään tavalla. Kun ali- ja ylipäästösuodattimen yhdistää, saadaan aikaiseksi kaistanpäästösuodin.

Kaistanpäästösuodin on suodin, joka päästää läpi tietyn taajuiskaistan signaalista. Taajuuskaistan ulkopuolelle jäävä signaali suodatetaan pois. Kuvassa 17 on esitetty Kaistanpäästösuotimen ulostulon taajuusvasteen kuvaaja.



Kuva 17. Kaistanpäästösuotimen taajuusvasteen kuvaaja

Suotimen rajataajuus ilmoitetaan -3dB:n pisteellä. Tällöin signaalin teho on pudonnut puoleen alkuperäisen signaalin tasosta. RC-suotimen kyseessä ollessa -3dB:n piste voidaan laskea kaavalla 1.

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad (1)$$

jossa,

f on taajuus, [Hz]

R on resistanssi, [Ω]

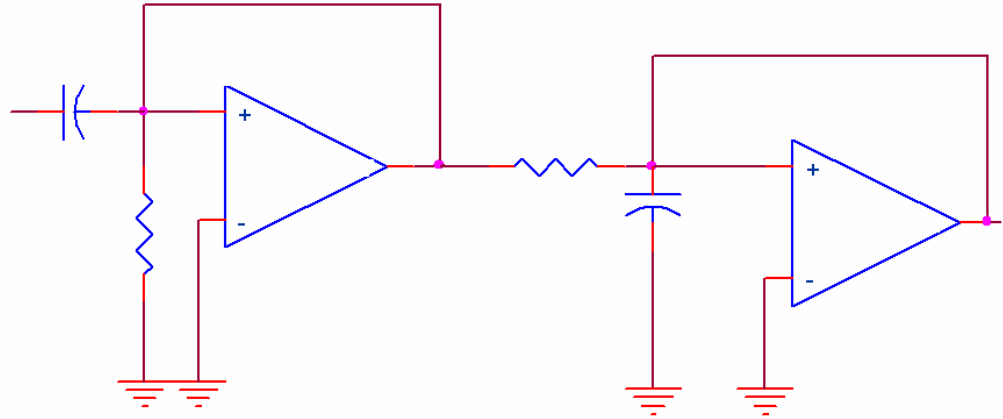
C on kapasitanssi, [F]

Yllä oleva kaava 1 on yleispätevä niin RC-alipäästösuotimelle kuin RC-ylipäästösuotimelle.

Käytännössä kaistanpäästösuodin toteutetaan yhdistämällä ali- ja ylipäästösuotimet. Kytkeä tapahtuu niin, että suotimet kytketään sarjaan. Kytkennän toiminnan kannalta on aivan sama, kumpi suotimista tulee kytkennällisesti ensimmäisenä. Toiminnan kannalta kannattaa kuitenkin alipäästösuodin sijoittaa ensimmäiseksi suodinasteeksi, jolloin saadaan aikaiseksi DC-blokki. Tämä korostuu varsinkin audiosovelluksissa, joissa signaali siirretään suotimista vahvistimen kautta kaiuttimeen. Vahvistin vahvistaa tasajännitettä vahvistimen vahvistusasteen verran, mikä tarkoittaa kaiuttimeen siirrettynä sitä, että kaiuttimelementti tuhoutuu, ellei tasajännitettä saada eliminoidua. On toki huomioitava, että myös operaatiovahvistimista tulee pieni offset-jännite, mutta tämä offset-jännite ei tässä sovelluksessa tule olemaan ongelma, koska operaatiovahvistimien vahvistuskerroin on kaikissa operaatiovahvistinkytkennöissä yksi, eikä tasajännite pääse kasvamaan korkeaksi.

Kaistanpäästösuodin toteutetaan siten, että kaistanpäästösuotimesta löytyvä alipäästösuodin asetetaan toimimaan kaistanpäästösuotimelle haluttuun ylärajataajuuteen. Vastaavasti taas suotimesta löytyvä ylipäästösuodin täytyy asettaa kaistanpäästösuotimen haluttuun alarajataajuuteen.

Kuvassa 18 on esitetty ensimmäisen asteen aktiivisen kaistanpäästösuotimen kytkentäkaavio.



Kuva 18. Aktiivinen kaistanpäästösuodin

2.7 Äänensiirto ampujalle

Äänensiirto voidaan toteuttaa ampujalle monella eri tavalla, mutta tässä keskitytään pelkästään siirtotapoihin jotka ovat helposti toteutettavissa. Jokaisella siirtotavalla on omat hyvät puolensa, mutta vastaavasti jokaisesta löytyy myös omat huonot puolensa. Työssä sivuutettiin monta uudempaa teknologiaa edustavaa tiedonsiirtomenetelmää. Esimerkiksi digitaalisten tiedonsiirtojärjestelmien heikkoutena voidaan pitää tiettyä hitautta, joka aiheutuu jo A/D- ja D/A-muunnoksista. Lisäksi nämä muunnokset kuluttavat tehoa yllättävän paljon ja muuntimet aiheuttavat lisäkustannuksia laitteelle ja vaativat enemmän tilaa. Voi olla mahdollista, että viiveen suuruus häiritsee jopa ammuntaa, koska ase on koko ajan pienessä liikkeessä ja korvan kuullessa kirkkaimman äänen täytyy sen olla tarpeeksi reaaliaikaista, ettei korvan kuulema tähtäyspiste ja aseennäkö osoittama tähtäyspiste ole kovin kaukana toisistaan.

2.7.1 FM-lähetin

FM-lähetin on kaikista potentiaalisin vaihtoehto audionsiirtoon tässä työssä, kuten tässä dokumentissa on aiemminkin todettu. FM-lähettimenä toimii joko itse suunniteltu ja toteutettu pienitehoinen FM-lähetin ULA-aalloille tai

vastaavanlainen kaupallinen laite. FM-lähettimen lähettämä taajuusalue on 87.5MHz-108MHz. Tämä taajuusalue on voimassa EBU:ssa mukana olevissa valtioissa. Muun muassa Japanissa on omat taajuusalueensa radiolähetille ja siellä taajuusalue on 76-90MHz. Taajuusalueiden erilaisuudet eri maiden välillä voivat vaikeuttaa laitteeseen sulautettavan lähettimen asentamista laitteeseen, jos oletetaan, että laitetta myydään muuallekin kuin Suomeen tai vastaaviin valtioihin, jotka käyttävät 87.5-108MHz:n taajuusaluetta. On myös otettava selvää, missä valtioissa on mahdollista edes käyttää pienitehoisia FM-lähttimiä. Suomessa pienitehoiset FM-lähttimet vapautuivat 1.1.2007, joskin niitä on saanut ostettua jo aiemminkin.

2.7.1.1 FM-modulaatio

Taajuusmodulaatio FM on kulmamodulaation erikoistapaus. Taajuusmodulaatiossa kanta-aallon keskitaajuuden muutos on suoraan verrannollinen moduloivan signaalin amplitudin derivaattaan. Toisin sanoen kanta-aallon hetkellinen taajuus riippuu moduloivan signaalin amplitudista.

FM-modulaation etuja ovat muun muassa:

- Hyvä kohinasuhde
- Kuuluvuus heikoillakin lähetille
- Kyky vaimentaa häiriöitä
- Vahvemmalle signaalille saatava peittovaikutus
- Suurehko sallittu taajuustoleranssi kanta-aallolle, järjestelmä voi olla epäkoherentti
- Mahdollisuus käyttää epälineaarisia vahvistimia lähetimessä, TX, ja vastaanotimessa, RX.

Vastaavasti FM-modulaation heikkoina puolina voidaan yleisesti pitää:

- Lähetteen tarvitsemaa suurta kaistanleveyttä, BW
- Impulssihäiriöiden epämiellyttävän ”hyvä” kuuluvuus

FM-moduloitu signaali voidaan esittää matemaattisesti seuraavalla kaavalla 3 tai 4, olettaen, että moduloiva signaali täyttää kaavan 2, joka on yksi äänisignaali.

$$u(t) = u_m \cdot \cos \omega_m t \quad (2)$$

FM-moduloitu kantaalto:

$$u_{FM}(t) = u_c \cdot \sin \left\{ \omega_c t + 2 \cdot \pi \cdot \Delta f \cdot \int^t x(\lambda) d\lambda \right\} \quad (3)$$

Jos moduloiva signaali $u(t) = u_m \cdot \cos \omega_m t = 1 \cdot \cos \omega_m t$ niin

$$u_{FM}(t) = u_c \cdot \sin \left\{ \omega_c t + \frac{\Delta f}{f_m} \sin \omega_m t \right\} \quad (4)$$

missä : u_c = moduloimattoman kantaallon amplitudi

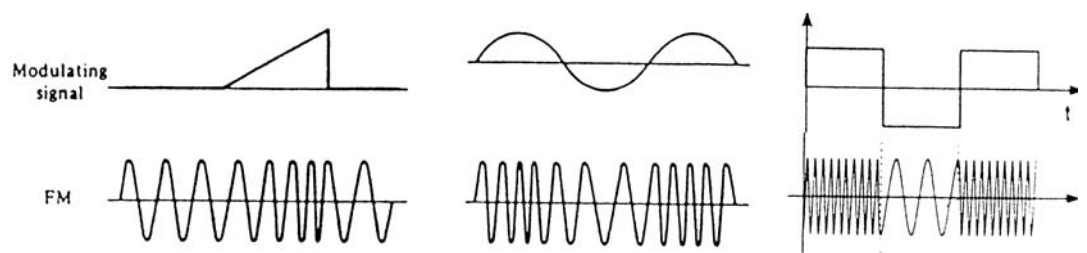
u_m = moduloivan signaalin amplitudi

ω_c = kantaallon kulmataajuus

ω_m = moduloivan signaalin kulmataajuus

Δf =deviaatio

FM-signaalin amplitudi pysyy aikatasossa vakiona, voidaankin täten ajatella, että kaikki informaatio on nollan ylityskohdissa. Kuvassa 19 on esitetty kuinka erilaiset moduloivat signaalit vaikuttavat FM-lähteeseen.



Kuva 19. Moduloivan signaalin vaikutus FM-lähteeseen aikatasossa

Taajuustasossa FM-signaalin spektri kuvaa signaalin tehon jakautumista eri signaalien osataajuuksien kesken. Taajuusmoduloitu lähete koostuu yleisessä tapauksessa kantaallosta ja äärettömän monesta sivukaistasta, joiden etäisyys kantaallosta on $\pm 1f_m, \pm 2f_m, \pm 3f_m, \pm 4f_m$ ja niin edelleen. Kunkin sivukaistan amplitudi on yhtäsuuri kuin sitä vastaava Besselin funktion arvo.

Spektri on symmetrinen kantaaltotaajuuden f_c suhteen. Spektriviivojen pituus kuvaa signaalin taajuuden tehoa. Spektriviivojen pituus ja lukumäärä riippuvat taajuuspoikkeamasta ja moduloivan signaalin taajuudesta. Taajuustasossa FM-signaalin esitykselle pätee seuraava lause: Mitä korkeampi on moduloivan signaalin taajuus, sitä nopeammin signaali muuttaa taajuutta ja mitä voimakkaampi moduloivan signaalin amplitudi on, sitä kauemmaksi sivunauhat loittonevat kantaallosta. Olennaista kuitenkin on se, että spektrikuvasta ei voida suoraan päätellä moduloivan lähteen muotoa.

Tärkeimmät taajuusmoduloidun signaalin spektristä selviävät asiat ovat:

- Taajuuspoikkeama, Δf
- Modulaatioindeksi β
- Teho P_{FM} , määräytyy modulaatioindeksistä
- Signaalin kaistanleveys, BW_{FM}

FM-signaalin kaistanleveys, BW

- Matemaattisesti taajuusmodulaatio on monimutkainen signaali, jonka kaistanleveys on ääretön, toisin sanoen sillä on ääretön määrä sivukaistoja. Kuitenkin vain osa niistä on merkitseviä, mutta raja riippuu kuitenkin sovelluksesta, sillä sivunauhojen amplitudi on erittäin pieni kaukana kantaallosta.
- Ylempien sivukaistojen amplitudit pienenevät monotonisesti sivukaistojen järjestysluvun kasvaessa. Lähteen tarvitsema kaista voidaankin käytännössä rajoittaa taajuuksiin, joissa sivukaistojen amplitudi on pienentynyt merkityksettömän pieneksi, ollen esimerkiksi 0.1–1.0 prosenttia moduloimattomasta kantaallosta.

Yksityisen sivunauhaparin amplitudi riippuu niin sanotusta Besselin funktioiden kuvaamalla tavalla. FM-moduloitu signaali voidaan esittää Besselin funktioiden avulla kaavan 5 mukaisesti.

$$u_{FM}(t) = u_C \sin \left\{ \omega_C + \frac{\Delta f}{f_m} \sin \omega_m t \right\} = u_C \sin \{ \omega_C t + \beta \sin \omega_m t \} \quad (5)$$

Kun tämän yhtälön jakaa komponentteihin, saadaan yhtälöstä seuraavanlainen.

$$\begin{aligned} u_{FM}(t) = u_C \{ & J_0(\beta) \sin \omega_C t \\ & + J_1(\beta) [\sin(\omega_C + \omega_m)t - \sin(\omega_C - \omega_m)t] \\ & + J_2(\beta) [\sin(\omega_C + 2\omega_m)t - \sin(\omega_C - 2\omega_m)t] \\ & + J_3(\beta) [\sin(\omega_C + 3\omega_m)t - \sin(\omega_C - 3\omega_m)t] \\ & + \dots \} \end{aligned}$$

Teoriassa sivunauhaparit yltävät äärettömyyteen, mutta käytännössä FM-sivualueet loppuvat deviaatioon (Δf) etäisyydelle kantoaaltotaajuudesta. Korkeintaan yksi merkitsevä sivualuepari on vielä tämän rajan ulkopuolella. Huomion arvoista sitä vastoin on, että sivukaistojen lukumäärä ja siis tarvittava kaistanleveys riippuu voimakkaasti modulaatioindeksistä β . Kun modulaatioindeksi kasvaa, kasvavat kaukaisten sivunauhojen suhteelliset amplitudit. Moduloivan taajuuden pienentyessä sivualueiden lukumäärä kasvaa amplitudin samalla pienentyessä. Näin täytyykin olla, koska kantoaallon ja sivualueiden summateho pysyy FM-lähteessä vakiona.

Taajuusmodulaatiossa modulaatioindeksillä on aivan yhtäsuuri merkitys kuin amplitudimodulaatiossakin. Sen laskeminen tapahtuu kuitenkin eri tavalla. Taajuusmoduloidulle signaalille modulaatioindeksi määritellään kaavan 6 mukaisesti.

$$m_f = \beta = \frac{f_{PEAK} - f_C}{f_m} = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (6)$$

missä: f_{PEAK} = suurin esiintyvä kantoaaltotaajuus

f_C = kantoaaltotaajuus

f_m = moduloivan signaalin taajuus

Δf = taajuuspoikkeama, deviaatio

FM-signaalin spektri modulaatioindeksin funktiona:

- Määrittelystä johtuen moduloivan signaalin taajuuden muutos aiheuttaa vastakkaissuuntaisen muutoksen modulaatioindeksissä, mikäli taajuuspoikeama pysyy samana.
- Lisäksi voidaan havaita, että jos taajuuspoikkeama kasvaa, niin modulaatioindeksi kasvaa myös, mikäli moduloivan signaalin taajuus pysyy samana.
- Modulaatioindeksin kasvaessa suuremmaksi kuin 2 alkaa myös kantoaallon amplitudi pienentyä. Modulaatioindeksin ollessa kyseistä arvoa pienempi, on kyseessä kapeakaistainen taajuusmodulaatio, NBFM.

Leveäkaistainen FM-modulaatio, WBFM

- Laajakaistaisilla modulaatiomenetelmillä WBFM (Wide Band Frequency Modulation) saavutetaan parempi häiriösuhde kuin kapeakaistaisilla, kääntäen voidaan sanoa, että häiriösuhdetta voidaan parantaa uhraamalla kaistanleveyttä. Häiriösuhteella on tosin tietty, laitteiden pohjakohinan aiheuttama maksimiraja.
- Leveäkaistaisessa taajuusmodulaatiossa signaalin deviaatio on paljon suurempi kuin suurin moduloiva pientaajuus. Esimerkiksi yleisradiolähetyksissä ULA-alueella nimellinen taajuuspoikkeama on 75kHz. Suuri deviaatio parantaa kaistanleveyden kustannuksella ilmaistun pientaajuuden signaali-kohina-suhdetta.
- FM-moduloidun lähetteen hetkellisen taajuuden lausekkeesta nähdään, että vastaanottimen demodulaattorin signaali on verrannollinen deviaatioon. Sitä voidaan kasvattaa lähetystehoa muuttamatta. Tämä merkitsee sitä, että FM-järjestelmässä S/N-suhdetta voidaan kasvattaa lähetystehosta riippumatta. Tällöin kuitenkin kaistanleveys kasvaa.
- Laajakaistaisilla modulaatiomenetelmillä on tietty kynnysarvo, jota pienemmällä suurtaajuisten häiriösuhteen arvoilla järjestelmä romahtaa. Kynnysarvo on likimain siinä, missä häiriöjännitteen huiput nousevat yhtä suuriksi suurtaajuisten hyötylähetteen kanssa. Jos lähetteen suurtaajuisista

kaistaa suurennetaan, kasvaa kyseisellä kaistalla vaikuttava kohinajännite ja kynnysarvo siirtyvät ylemmäksi.

Laajakaistaisen FM-modulaation etuja ovat muun muassa:

- Tärkein etu on hyvä siirronlaatu kynnystason yläpuolella. Tähän liittyy myös varsin suuri samalla taajuudella toimivan signaalin vaimentuminen ja kipinähäiriöiden vaimentuminen.
- Taajuusstabiiliuden ei tarvitse olla kovinkaan hyvä, koska vastaanottimen kaistanleveyteen nähden pieni taajuusryömintä ei sanottavasti huononna siirron laatua.

Laajakaistaisen modulaation haittoja:

- Tärkein haitta on lähetteen vaatima suuri kaistanleveys, joka voi olla satoja kilohertsejä. Tämä luonnollisesti mahdollistaa lähetteen käyttämisen VHF-, UHF- ja SHF-taajuuksilla.
- Deviaation kasvaessa myös kynnysarvoon tarvittava signaalin voimakkuus kasvaa ja signaalin alittaessa kynnysarvon yhteyden laatu heikkenee romahdusmaisesti. [1]

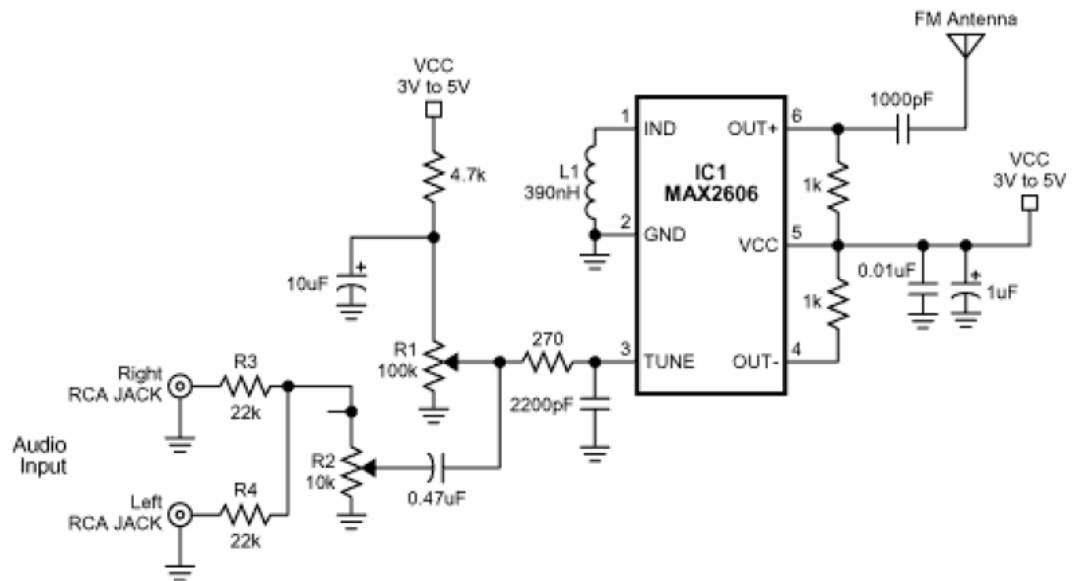
2.7.1.2 Rajoitteet FM-lähettimelle

Pienitehoisille FM-lähettimille on määrätty laissa tiettyjä rajoituksia, jotka koskevat myös tätä sovellusta. Ainoat rajoitteet pienitehoisille FM-lähettimille olivat viestintäviraston dokumentissa ”Viestintävirasto 15W/2006 M - määräys luvasta vapaiden radiolähettimien yhteistaajuuksista ja käytöstä” kohdassa 25[7]. Tässä kohdassa mainittiin, että lähettimen ERP-teho ei saa ylittää taajuusalueella 87.5-108MHz 50nW:n tehoa. Kanavälin täytyy olla 200kHz.

Keskustelin asiasta 23.01.2007 Ari Lahtisen kanssa, ja hän vahvisti ettei pienitehoisille FM-lähettimille ole muita rajoitteita. Ari Lahtinen työskentelee viestintävirastossa. Samat rajoitteet voi löytää myös ETSI:n dokumentista EN 301 357-2 [8], tai vastaavasti soveltuvien osien ERC:n suositusta CEPT/ERC/REC 70-03, liite 13:sta [9].

2.7.1.3 FM-lähetin piirejä

Markkinoilta löytyy joitakin FM-lähetin käyttöön soveltuvia IC-piirejä, joita voisi käyttää lyhyenkantaman FM-lähettimiin. Tällaisia piirejä ovat muun muassa MAXIM IC:n MAX2606, ALPS:n TSM 1-6 ja Silabs:n S4711. Käytännössä tällaiset piirit tarvitsevat toimiakseen vain muutaman ulkoisen komponentin. Kuvassa 20 on esitetty esimerkkikytkentä MAX2606-piirin käytöstä FM-lähettimenä.



Kuva 20. MAX2606-piirillä toteutettu FM-lähetin [10]

Jos tällainen lähetin toteutettaisiin tähtäimen sisälle, yksinkertaistuisi kytkentä entisestään audion sisäänsyötön elektroniikan osalta.

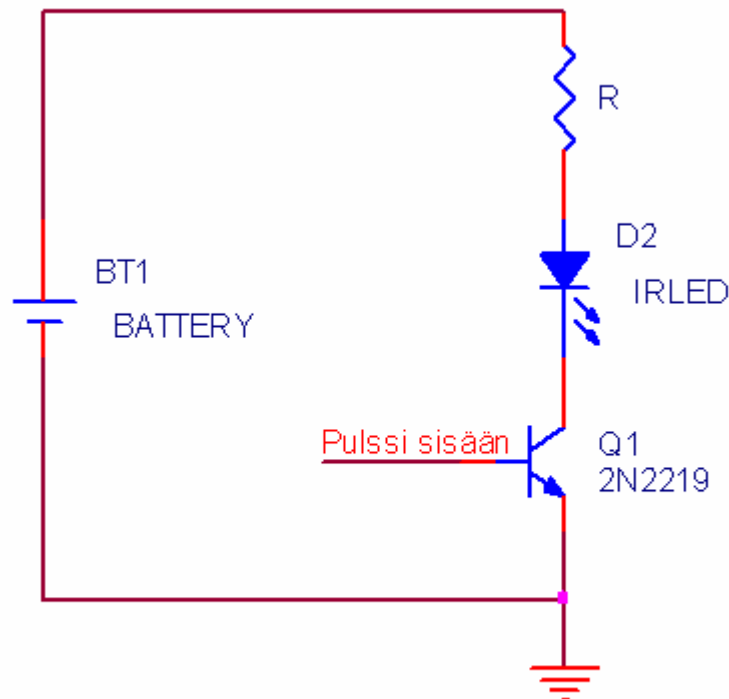
2.7.2 Infrapunälähetin

Infrapunälähetin on erittäin yksinkertainen ja halpa tapa toteuttaa langaton tiedonsiirtojärjestelmä. Jos tiedonsiirto toteutetaan infrapunälähettimellä, täytyy lähettimen suunnittelun yhteydessä suunnitella myös infrapunavastaanotin. Infrapunälähetin ja -vastaanotin tarvitsevat periaatteessa IR-diodin lisäksi ainoastaan vahvistimen, joka vahvistaa optokomponentilta tulleen pulssin riittävän voimakkaaksi.

IR-diodin läpi kulkeva virta on varsin suuri, tyypillisesti noin 100mA:n luokkaa. Jos IR-diodia ohjataan symmetrisellä kanttiaallolla, tarkoittaa tämä sitä, että diodin kuluttaa virtaa 50mA, joka on varsin suuri virta paristokäyttöiselle laitteelle. Tässä

tapauksessa diodia kannattaa ohjata lyhytkestoisilla pulsseilla, joita esimerkiksi TSL230-piiri pystyy syöttämään. Tällöin diodi on aktiivisena noin 5 %:ia ajasta ja virrankulutus laskee täten 5mA:iin.

Kuvassa 25 on esitetty esimerkkikytkentä jolla, infrapunälähetin voitaisiin toteuttaa.



Kuva 21. Infrapunälähtetimen kytkentä

Jos transistori oletetaan 2N2219:ksi, käyttöjännite on 3.3V ja IR-diodin virta on 100mA. Näiden tietojen lisäksi tiedetään, että TSL230-piiri pystyy syöttämään virtaa 4mA transistorin kannalle. Tällöin vastuksen arvoksi saadaan kaavan 7 avulla laskettua, kun transistorin virtavahvistus h_{fe} on 40 ja U_{CESAT} on 0.2V

$$R_C = \frac{U_{CC} - U_{CESAT}}{I_C} \quad (7)$$

missä : R_C = Kollektorivastus

U_{CC} = Käyttöjännite

U_{CESAT} = Transistorin saturaatiojännite

I_C = Kollektorivirta

$$R_C = \frac{U_{CC} - U_{CESAT}}{I_C} = \frac{3.3V - 0.2V}{100mA} = 31\Omega$$

Infrapunälähtetimen toteutus olisi yksinkertaisimmillaan näin yksinkertainen. Lähtetimen lähetyskeila olisi tarpeeksi iso, jotta lähetyksen voisi ottaa vastaan sekä ampuja, että ampujan avustaja. IR-diodien säteilykeilat ovat tyypillisesti kohtalaisen kapeita. Kapeakeilaisuudella saavutetaan se hyöty, että säteilykeila saadaan voimakkaammaksi pienelle kohdistetulle alueelle. Samaa periaatetta noudattaa myös television kaukosäädin ja televisiossa sijaitseva vastaanotin. Lähtetimen keila on kapea, mutta vastaavasti vastaanottimen keila on erittäin suuri.

2.8 Jännitelähde

Jännitelähde kappaleessa keskitytään tutkimaan eri mahdollisuuksia toteuttaa tehonsyöttö laitteistoon. Kappaleessa käsitellään erilaisia toteutustapoja tuottaa käyttöjännite tai käyttöjännitteet riippuen lopullisen laitteen tarvitsemista jännitetasoista. Suunnittelussa pyritään valitsemaan komponentit niin, ettei tarvita kuin yksi ainoa käyttöjännite. Jännitelähteen valintaan vaikuttaa oleellisesti myös kotelointi ja tämän myötä virtalähteelle varattu tila, mutta myös pariston tai akun vaihdon helppous vaikuttaa valintaan. Suunnittelussa on osattava ottaa huomioon, että paristot ja akut ovat samanlaisissa koteloissa, mutta napajännitteiden ero pariston ja akun välillä saattaa olla jopa kahden voltin luokkaa.

2.8.1 Paristot ja akut

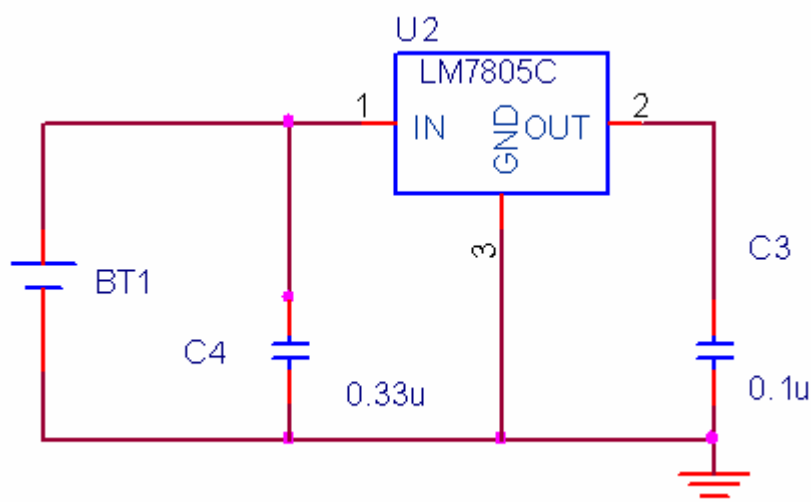
Paristoissa ja akuissa paras vaihtoehto on 6LF22-koteloitu paristo tai akku. Kysenen kotelointi tunnetaan paremmin 9V:n paristona. Akkuna tämän kotelointityypin napajännitteet ovat 7.2-9.6V:ia. Vaikka nämä paristot ja akut eivät välttämättä ole parhaita mahdollisia vaihtoehtoja kapasiteetiltaan, niin tällaiseen sovellukseen näistä paristoista löytyy puolia, jonka vuoksi tämä nousee parhaaksi vaihtoehdoksi. Tällaisen 9 voltin pariston kapasiteetti on yleensä alle 200mAh. Paristosta löytyy kuitenkin selkeästi tunnistettavat plus- ja miinusnavat, jotka ovat helposti tunnistettavissa tunnustellenkin. Tällaisia paristoja tarvitsee asentaa laitteeseen vain yksi kappale, jolloin välttytään myös siltä ongelmalta, että toinen paristoista tulee väärinpäin ja toinen oikeinpäin, jolloin paristojen jännite

potentiaalit kumoavat toisensa. 9V:n paristoille löytyy kotelaita johon pariston pystyy asentamaan vain tietyllä tavalla jolloin vältetään myös siltä ongelmalta, että pariston voisi asentaa väärinpäin. Tästä huolimatta on elektroniikka suojattava vääränapaiselta käyttöjännitteeltä, koska ihmisen nokkeluudella ei ole rajaa, jos hän haluaa asentaa jonkin asian haluamallaan tavalla. Näiden lisäksi 9V:n pariston tai vastaavaan koteloinnissa olevaa akkua suosii myös se tosiasia, että 6LF22-koteloitu paristo ei vie tilaa sen enempää kuin kaksi kappaletta 1.5 voltin AA- tai AAA-paristoa.

Olisi ollut houkuttelevaa suunnitella teholähde niin että se olisi ollut piirilevyyn juotettu akusto, tai vaikkapa matkapuhelimen akku. Näillä akuilla olisi ollut huima kapasiteetti verrattuna 9 voltin paristoon. Matkapuhelimen akun napajännite olisi ollut suoraan sopiva niin optotunnistimen kuin FM-lähtetimen ja operaatiovahvistimien käyttöjännitteeksi. Ainoa haittapuoli kiinteässä akussa on kuitenkin se, ettei sitä voida vaihtaa kovinkaan nopeasti, jos akusta loppuu virta kesken. Esimerkiksi kilpailutilanteessa täytyy varmistua siitä, ettei kilpailijan tarvitse lopettaa ammuntaa sen vuoksi, että hänen tähtäinlaitteestaan on loppunut virta. Tämän vuoksi on turvallisempaa pysyä nopeasti vaihdettavissa paristoissa.

2.8.2 7805-regulaattori

7805-regulaattori on yksi yleisimmistä elektroniikassa käytetyistä regulaattoreista. 7805 reguloi jännitelähteestä saamansa jännitteen positiiviseksi +5V:n käyttöjännitteeksi. Kuvassa 22 on esitetty mallikytcentä, kuinka 7805 piiriä käytetään.



Kuva 22. 7805 regulaattorin esimerkkikytkentä

Kuvasta 22 voidaan havaita että 7805 regulaattori tarvitsee ympärilleen vain kaksi ulkoista komponenttia toimiakseen. Reguloidun jännitteen ulostulo on nastassa 2, joka näkyy kytkennässä oikeassa yläkulmassa.

7805-regulaattorilla käyttöjännitteenmuodostus olisi erittäin yksinkertaista ja halpaa. Piiristä löytyy kuitenkin joitakin heikkoja puolia, joiden vuoksi vaihtoehtoisten regulaattorien ja jännitemuuntimien tutkiminen on välttämätöntä.

7805-piirin heikkouksina on kuitenkin pidettävä sen ylijäävää jännitettä. Tämä arvo on minimissään 1.7 voltia, jolloin jännitelähteen jännitteen on oltava vähintään 6.7 voltia. Tämän lisäksi on huomionarvoista, ettei 7805 piiri ole kovinkaan hyvä hyötysuhteeltaan, koska regulaattorissa syntyy lämpötehoa, jolloin piiriä käytettäessä on osattava ottaa huomioon myös jäähdytykseen liittyvät seikat. Toisaalta tässä sovelluksessa virrat jäävät mitättömän pieniksi, että lämpöseikat ovat mitättömät.

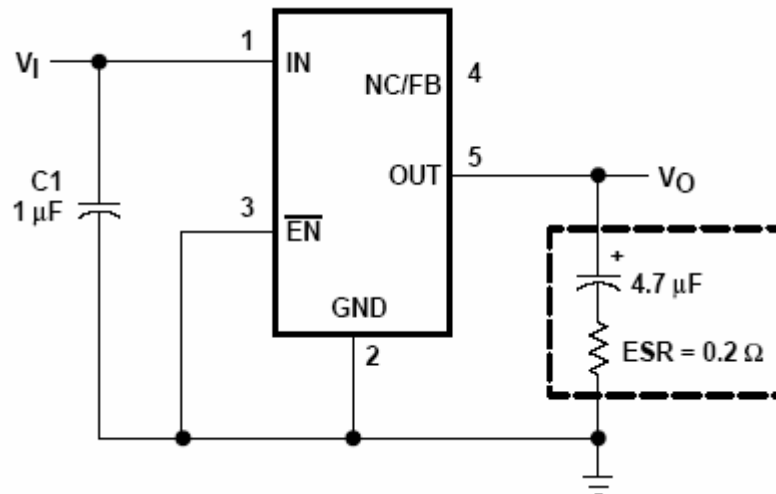
7805-regulaattorin heikkoutena tässä sovelluksessa voidaan myös pitää sen syöttämää jännitettä, joka soveltuu ainoastaan operaatiovahvistimille, optokomponentille ja taajuuden muodostavalle komponentille. Esimerkiksi FM-lähettimelle 5 voltin jännite on liian suuri. Tällöin FM-lähettimelle olisi valittava toinen regulaattori, joka alentaisi jännitteen kyseiselle piirille sopivaksi. Tämä koskee niin valmiita kaupallisia FM-lähettimiä kuin itse suunniteltavia FM-lähetinpiirejä.

2.8.3 TPS76933-regulaattori

TPS76933 regulaattori pieni SOT-23 koteloon sovitettu regulaattori, jonka ulostulo jännite on 3.3 voltia. TPS76933 kuuluu Texas Instrumentsin 769XX-regulaattori perheeseen. Nämä regulaattorit on suunniteltu erityisesti vähän virtaa kuluttaviin laitteisiin, kannettaviin ja pieni piirilevyisiin laitteisiin. Regulaattorin sisältä löytyy muun muassa lämpösuoja, joka estää piiriä ylikuumenemasta. Regulaattorin maksimi virranantokyky on 100mA. Tähtäinlaitteen virrankulutus jää FM-lähetimenkin kanssa noin 50mA:iin, joten tämän piirin pitäisi riittää sovellukseen mainiosti. Regulaattorin suunnittelussa on selkeästi otettu huomioon sen

pääkäyttökohteet ja tämän vuoksi regulaattori tarvitsee maksimissaan kolme ulkoista komponenttia toimiakseen.

Kuvassa 23 on esitetty esimerkkikytkentä regulaattorin käytöstä.



Kuva 23. TPS76933 regulaattorin mallikytkentä [11]

Kytkenässä on ainoastaan neljä nastaa, jotka tarvitsee kytkeä. Nasta 1 on jännitteen sisäänsyöttö, nasta 2 on maa, nasta 3 on piirinaktivointinasta, joka on nolla-aktiivinen ja nasta 5 on reguloidun jännitteen ulostulo.

Kyseinen regulaattori sopisi tähtäinlaitteeseen erinomaisesti, koska regulaattorin antama jännite on sellainen, että sitä voi käyttää myös FM-lähettimen jännitteensyöttöön. Lisäksi regulaattorin hinta ei ole juurikaan 7805 korkeampi, joten kynnys valita kyseinen piiri jännitteen vakavoijaksi ei ole sen korkeampi kuin 7805:n kohdallaakaan. Toki tarjolla olisi parempiakin vaihtoehtoja 7805 ja TPS76933 regulaattorien lisäksi, mutta hinnat kohoavat saatavaan hyötyyn nähden liian korkeiksi. Yksittäisten piirien hintaero TPS76933 regulaattorin ja jonkin paremman hyötysuhteen omaavan jännitemuuntimen välillä saattaa olla jopa 50-kertainen.

2.9 Suojaselektroniikka

Toteutuksessa on otettava huomioon myös elektroniikan suojaus, ettei laitteisto hajoa virheen tapahtuessa. Suojausta on syytä korostaa tässä tapauksessa, koska tähtäinlaitteen käyttäjät ovat pääsääntöisesti sokeita henkilöitä. On mahdollista he harrastavat ammuntaa omatoimisesti ja pitävät laitteensa toimintakuntoisina ilman

ulkopuolista apua. Esimerkiksi teholähteen ollessa paristo tai akku, joka täytyy vaihtaa aika ajoin, täytyy laite suojata siltä varalta, että teholähde kytketään väärinpäin kiinni tähtäimeen. Jännitteen vääränapaisuuden estämiseksi helpoin keino on sijoittaa diodi myötäsuuntaan jännitelähteen plusnapaan. Tällöin virta pääsee kulkemaan vain tiettyyn suuntaan.

Tämän suojauksen heikko puoli on se, että diodin yli jää pieni jännite, joka saattaa rajoittaa jännitelähteen valintaprosessia. Tämä jännitteen pienenemä on yleisesti luokkaa 0.3 - 0.7 voltia.

Diodin lisäksi on turha sijoittaa tähtäinlaitteeseen muuta suojauselektroniikkaa. Virrat laitteen sisällä jäävät niin pieniksi, että elektroniikkaa on turha suojata yli suurelta virralta sulakkeella. Virran kasvun mahdollistaa ainoastaan laitteeseen tullut vika, kuten yleensäkin. Tässä tapauksessa pieniä virtoja kestävät komponentit todennäköisesti kuitenkin hajoavat ennen kuin sulake ehtii palaa.

2.10 Laboratoriomittaukset

Suurin osa työstä tehtiin juuri laboratoriossa tehdyillä mittauksilla ja erilaisilla kokeilla. Esimerkiksi optokomponenttien valontunnistuskkyä on täysin mahdotonta sanoa ilman laboratoriotestejä. Kun mukaan tulee vielä tähtäin, jonka optiikkaa on lähestulkoon mahdoton selvittää, ei toteutusvaihtoehtojen tutkimiseen jää muuta mahdollisuutta kuin laboratoriomittaukset. Laboratoriomittauksissa simuloitiin todellisia ampumaolosuhteita ja tutkittiin kuinka laitteet ja komponentit reagoivat kyseisissä olosuhteissa.

Vaikka laboratorio töistä ei ole tehty kuin kahdelle optiikkaan ja ääneen liittyvällä komponentilla, on taustalla paljon taustatutkimustyötä, jotta löydettäisiin parhaat mahdolliset komponentit laitteen toteuttamiseksi.

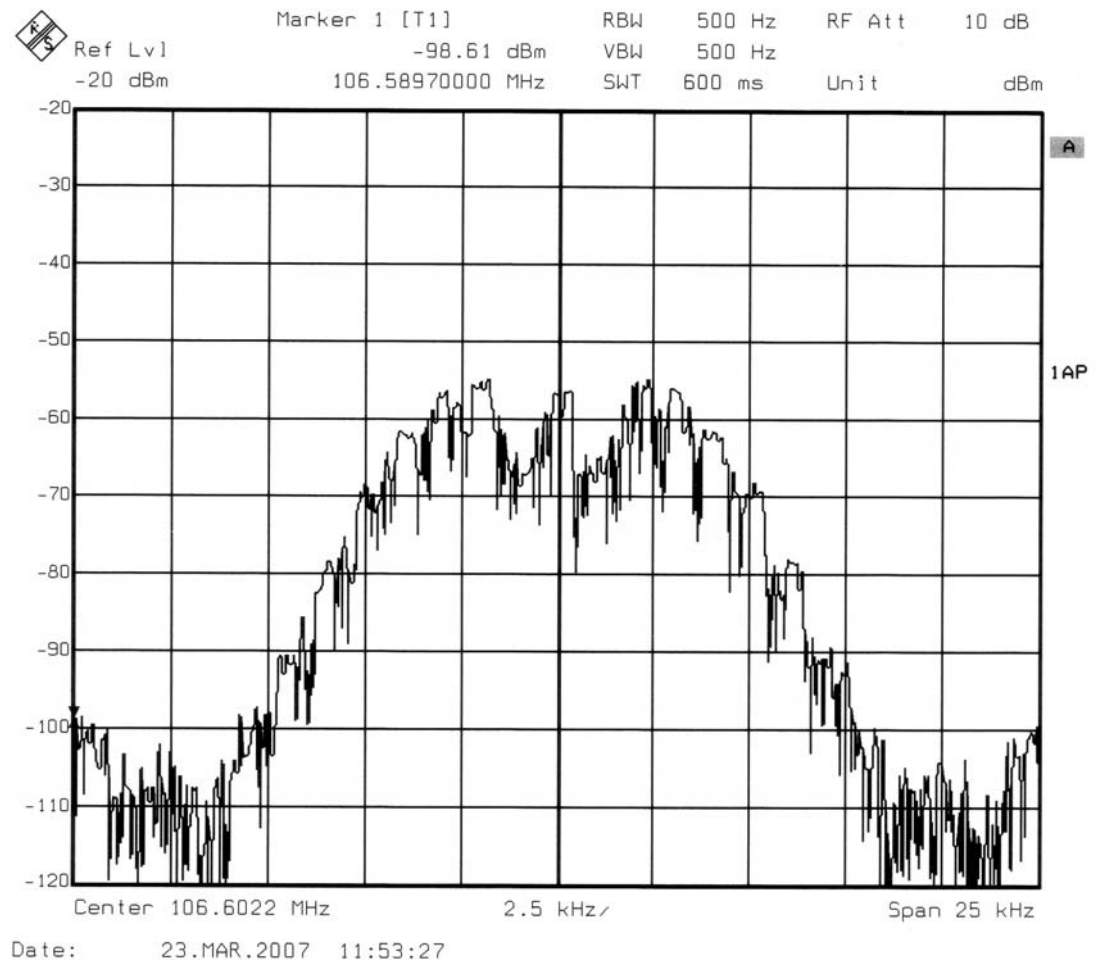
2.10.1 FM-lähetin mittaukset

FM-lähettimen mittauksissa keskityttiin tutkimaan lähinnä kuinka pitkä pienitehoisen FM-lähettimen kantama on. Lisäksi tutkittiin lähettimen tuottamaa spektriä sekä lähetystehoa. Näistä arvoista saatamme päätellä pitääkö lähettimen valmistaja kiinni ETSI:n asettamista rajoituksista. Käytäntö tällaisten lähettimien kanssa taitaa olla se, ettei niitä tyyppitestata lainkaan minkään viranomaisen

toimesta, vaan laitteen valmistaja sitoutuu ja allekirjoittaa sopimuksen, jonka mukaan laite täyttää vaadittavat määräykset.

Mittauksissa havaittiin, että lähettimen signaali on vastaanotettavissa noin 5 metrin päässä lähetimestä. Tähän etäisyyteen vaikuttaa myös FM-vastaanottimen herkkyys. Arvo on kuitenkin valmistajan lupaaman spesifikaation mukainen, joten voidaan olettaa myös valmistajan testanneen tämän ominaisuuden.

Toisena mittauksena lähettimelle, testattiin lähettimen ominaisuuksia, kun lähetettävä signaali oli 1kHz:n siniaaltoa, jonka V_{pp} oli 50mV. FM-lähettimen lähetystaajuus asetettiin 106.6MHz:iin. Mittaustulokseksi saatiin kuvan 24 mukainen spektrikuva spektrianalysaattorilta.



Kuva 24. FM-lähettimen lähetteen spektrikuva

Kuvasta 24 voidaan havaita useita seikkoja. Ensimmäinen huomion arvoinen asia on, että lähettimen lähetystaajuus ei ole aivan eksaktisti 106.6MHz, kuten taajuus

oli lähettimeen määritelty. Spektrianalysointin mukaan lähtetimen lähetystaajuus on pielessä noin 2 kHz. Lisäksi voimme arvioida kuvasta lähtetimen lähetystehon olevan suurimmillaan noin -55dBm 500Hz:n resoluutiokaistanleveydellä. Teho voidaan muuttaa wateiksi kaavalla 9, jonka saadaan johdettua kaavasta 8.

$$P[\text{dBm}] = 10 \cdot \lg \frac{P[\text{mW}]}{1\text{mW}} \quad (8)$$

$$P[\text{mW}] = 1\text{mW} \cdot 10^{\frac{P[\text{dBm}]}{10}} \quad (9)$$

Kun spektrikuvasta saadut arvot sijoitetaan kaavaan 9, saadaan lähetystehoksi:

$$P[\text{mW}] = 1\text{mW} \cdot 10^{\frac{-55\text{dBm}}{10}} = 3.16 \cdot 10^{-9} \text{ W} = 3.16\text{nW}, \text{ BW}=500\text{Hz}$$

Tällaiseen teholumeniin päästään noin metrin päästä mitattuna lähettimestä. Jos mitta-antenni olisi viety lähemmäksi lähetintä, olisi saatu lähempänä totuutta ollut lukema lähetysteholle. Tuloksesta voidaan kuitenkin arvioida, että lähtetimen ERP-teho on kohtuullisen lähellä totuutta.

Lähetintä testattaessa huomattiin myös, kuinka liian voimakkaan audiosignaalin ohjaaminen lähettimeen aiheuttaa huojuntaa vastaanotettavassa läheteessä. Audiotaaajuuden huojuntaa havaittiin, kun audiosignaalin voimakkuus oli enemmän kuin 50mV_{pp} .

2.10.2 LM331-piirin mittaukset

LM331-piiri oli ensimmäinen laboratorio-olosuhteissa testattu piiri tämän työn puitteissa. Piiriä testattiin kuvien 13 ja 14 mukaisilla kytkennöillä. Piiriä testattiin aluksi ilman optokomponenttia. Optokomponentin tuottamaa jännitettä voidaan simuloida vastuksen ja potentiometrin kytkennällä, jolla voidaan säätää jännitteenjakosuhdetta. Tällaisella kytkennällä voidaan ymmärtää paremmin LM331-piirin toiminta, kun muuttuvia tekijöitä on vähemmän.

Piirin toiminta oli alkuun varsin yllätyksellistä, koska mittaustulokset eivät olleet aivan sellaiset mitä odotettiin. Piirin ulostulo ei ollut symmetristä kanttiaaltoa tai siniaalto, kuten voisi olettaa piiriltä, jonka päätarkoitus on muuntaa jännite taajuudeksi. Toisaalta voidaan olettaa, että tunnistus tapahtuu useassa sovelluksessa

pulssin nousevasta reunasta, niin voidaan tehdä johtopäätös, ettei pulssin symmetrisyydellä ole juurikaan merkitystä. Pulssin ykköstilän pituutta voitiin ohjata RC-resonanssipiirin komponenttien resistanssilla ja kapasitanssilla.

LM331-piiriä testattiin myös fototransistorin kanssa, mutta testit jäivät hieman kokeiluasteelle, koska ajanpuutteen parempien toteutusvaihtoehtojen löydyttyä, sivuutimme LM331-piirin ja fototransistorien ja fotodiodien tutkimisen. Fototransistoria ei ehditty kokeilla tähtäimessä, mutta testit osoittivat kuitenkin tärkeän havainnon siitä, että valolähteen tulee olla tasajännitteellä toimiva. Tämä havaittiin, kun fototransistorin ominaisuuksia alettiin testata, ja fototransistorin ohjaama ulostulojännite moduloitui loisteputkivalojen 100Hz:n ominaistajuudesta.

2.10.3 TSL230-piirin optiset mittaukset

TSL230-piiri nousi esiin hieman vahingossa, koska suunnittelu oli jo laskettu LM331-piirin varaan ja ensimmäiset laboratoriotestit oli jo tehty siinä vaiheessa, kun TSL230-piiri löytyi. Epäilykset TSL230:n soveltuvuudesta tähtäinlaite käyttöön oli kuitenkin epävarmaa, koska piiristä tiedettiin vain sen verran, mitä datalehti kertoi piiristä. Kokemusta piirin käytöstä ei ollut ja tämän takia piiri otettiin testattavaksi ja tutkittiin onko tähtäinlaitteen optoelektroniikka toteutettavissa ilman ulkoista biasointia. TSL230-piirin kanssa tilattiin myös OPT101-piiriä, sen varalta ettei ensin mainittu toimi.

TSL230:n testaaminen aloitettiin koekytkentäalustalla, jossa piirin käyttäytymistä tutkittiin yleisellä tasolla huolellisten datalehtien tutkimisen jälkeen. Piirin herkkyyttä ja taajuuden kertojaa olikin erittäin helppo ja nopea vaihtaa ja tutkia, toimiiko piiri datalehden spesifikaatioiden mukaisesti. Kun piiriä oli testattu koekytkentäalustalla, rakennettiin ensimmäinen piirilevy reikäkortille. Tämän piirilevyn tarkoituksena oli saada TSL230:lle kiinteä ja stabiili alusta, jonka voisi kiinnittää tähtäimeen. Testipiirilevy tehtiin niin, että TSL230-piirin keskikohta saatiin keskitettyä keskelle kiikaria. Tämä siitä syystä, että valo jonka piiri näkee, näkyy parhaiten keskilinjalla. Toki tähtäyspistettä voidaan säätää tähtäimestä löytyvillä säätöruuveilla, mutta ettei säätövara ammuntatilanteessa loppuisi kesken, on TSL230:n sijaittava keskellä okulaaria. Kun piirilevy oli saatu tehtyä valmiiksi, juotettiin piirilevyyn kahdeksan säikeinen kaapeli, jota pitkin jokaisen nastan tilat saatiin asetettua joko käyttöjännitteeseen tai maahan, riippuen siitä mihin tilaan

bitti haluttiin asettaa. Piirilevy asetettiin aluksi vesijohtoputken jatkopalaan joka oli sorvattu sopivaksi piirilevylle ja 4x20-tähtäimelle. Jatkopalaan oli tehty myös ruuvikiinnitys jolla sen sai kiinnitettyä näppärästi tähtäimeen. Jatkopala valittiin testeihin sen vuoksi, että siinä oli sopivat olakkeet joilla piirilevyn sai asetettua stabiilisti yhteen paikkaan, kun jatkopalan kiinnitti tähtäimeen.

Ensimmäisen piirilevyn ja kiinnitysholkin valmistuttua oli aika kiinnittää TSL230 kiikariin. Ensimmäinen tähtäin johon optoelektroniikkaa kokeiltiin, oli Nikko Stirling:n Mount Master 4x20. Tähtäintä testattiin aluksi noin parin metrin etäisyydeltä valaistusta maalitaulusta. Tähtäin kiinnitettiin jalustaan, jossa tähtäintä pystyi liikuttamaan 360 astetta ympäriinsä ja korkeutta pystyi säätämään säätöruuvein. Parin metrin etäisyydellä valaistusta taulusta, tähtäintä liikuteltiin edestakaisin ja TSL230:n ulostuloa seurattiin oskilloskoopin näytöltä. Mittaustulokset olivat erittäin lupaavia sen suhteen, että elektroniikka todellakin reagoi valovoimakkuuteen tähtäimen läpi. TSL230:n ulostulon signaalin taajuus oli kuitenkin varsin matala, ottaen huomioon että etäisyys oli ainoastaan pari metriä. Signaalin taajuus jäi suurimmalla herkkyydellä ja taajuuden skaalauksella noin 1kHz:iin, joten oli turha edes kokeilla tähtäintä elektroniikan kanssa 10 metrin etäisyydeltä, koska valovoimakkuus pienenee etäisyyden neliön mukaisesti. Tähtäimen optiikan ollessa epäselvä, signaalin vaimeuden syyn epäiltiin olevan siinä, ettei komponentti ollut okulaarin polttopisteessä ja että komponentin täytyisi sijaita siinä, jotta signaali olisi tarpeeksi voimakas. Toki tämän asian suhteen oltiin sikäli oikeassa, että komponentin pitäisi sijaita polttopisteessä, jotta valovoimakkuus komponentille saataisiin voimakkaimmaksi ja taajuus olisi tämän myötä korkein. Taajuus nousi polttopisteessä, mutta se oli kuitenkin 10 metrin päästä liian alhainen ammuntatarkoitukseen. Syitä huonoon mittaustulokseen etsittiin tähtäimen eri osista ja tähtäintä koetettiin saada toimimaan ilman okulaarin ja objektiivin, mutta tulokset eivät muuttuneet miksikään. Loppujen lopuksi tajuttiin, ettei vika ollut yksittäisessä tähtäimen osassa, vaan koko tähtäimessä.

Uutena tähtäimenä testattiin Tasco:n 4x20-tähtäintä. Tähtäimen linssit on tehty lasista, toisin kuin Nikko Stirlingin linssit, jotka linssit oli tehty muovista. Tascon tähtäimen kanssa suoritettiin samat mittaukset kuin Nikko Stirlingilläkin, ja tulokset olivat riemastuttavat edelliseen verrattuna. Taajuus nousi 10 metrin etäisyydellä jo 550Hz:iin. Komponentin ei tarvinnut edes olla polttopisteessä, vaan

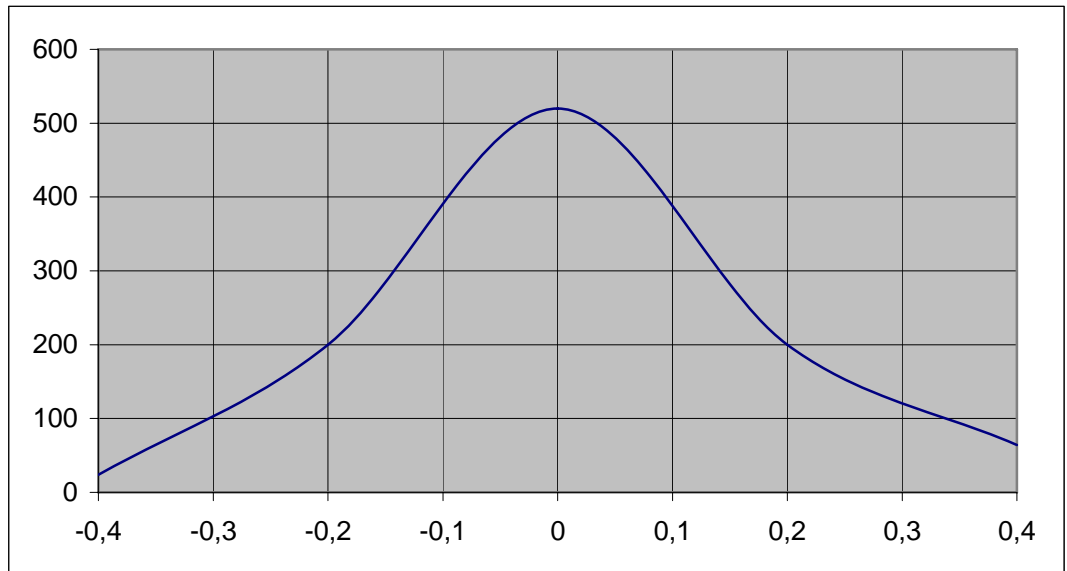
se oli sijoitettu niin lähelle okulaaria kuin mahdollista. Tämä tulos oli riittävä todistamaan sen, että tähtäinlaite on mahdollista saada toimimaan TSL230:lla.

Seuraavaksi mittauksissa siirryttiin tutkimaan kuinka suurelta alueelta TSL230 antaa ”järkevää” audiosignaalia. Järkevällä audiosignaalilla tarkoitetaan tässä tapauksessa audiosignaalia joka on korvin kuultavaa vinkumista, eikä matalaa murinaa tai napsumista. Tämä tutkimus oli sinällään merkittävä osa tutkimusta, koska näiden mittausten perusteella voitiin muun muassa määritellä, tarvitseeko komponentin valoaukkoa pienentää. Lisäksi tulosten perusteella voidaan myös määrittää taulusta heijastuneen valovoimakkuuden määrä. Taulukosta 3 voidaan nähdä mittaustulokset. Mittaukset on suoritettu 10 metrin etäisyydeltä ja taajuus on mitattu piirin ulostulosta oskilloskoopilla. Mittaus suoritettiin niin, että tähtäin kalibroitiin suurimpaan taajuuteen eli taulun keskipisteeseen. Tämän jälkeen tähtäintä alettiin siirtää keskipisteestä poispäin ja tietyn asteluvun välein mittaustulokset kirjattiin ylös. Taulukossa miinus-etumerkillä varustetut poikkeamat merkitsevät siirtymää vasemmalle.

Taulukko 3. Taajuuden riippuvuus tähtäyspisteen poikkeamasta keskipisteestä

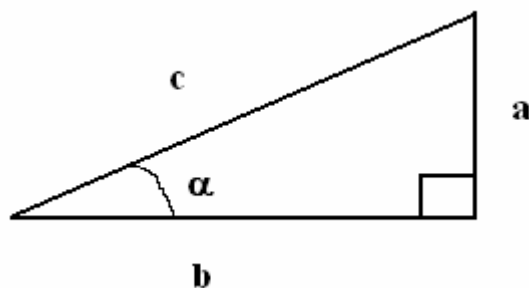
Poikkeama keskipisteestä [°]	Taajuus [Hz]
-0,4	24
-0,2	200
0	520
0,2	200
0,4	64

Taulukosta 3 tehtiin kuvaaja, jonka perusteella voi karkeasti arvioida, millainen taajuus saadaan aikaiseksi tietyn suuruisella poikkeamalla. Kuvaaja on esitetty kuvassa 25.



Kuva 25. Taajuuden suuruus poikkeamana keskipisteestä

Näiden tietojen perusteella voidaan myös tehdä kuvaaja, josta ilmenee taajuuden ja taulun numeron keskinäinen riippuvuus. Tämä voidaan määrittää, koska tiedetään ampumaetäisyys ja taulun halkaisija. Etäisyys taulun ja tähtäyspisteen välillä on 10 metriä ja taulun halkaisija 14 senttimetriä. Taulussa pienin esiintyvä numero on 4. Kaavan 10 avulla voidaan määrittää suurin kulma tietylle etäisyydelle taulun keskipisteestä. Kuvasta 26 selviää kaavassa 10 käytetyt aputermit.



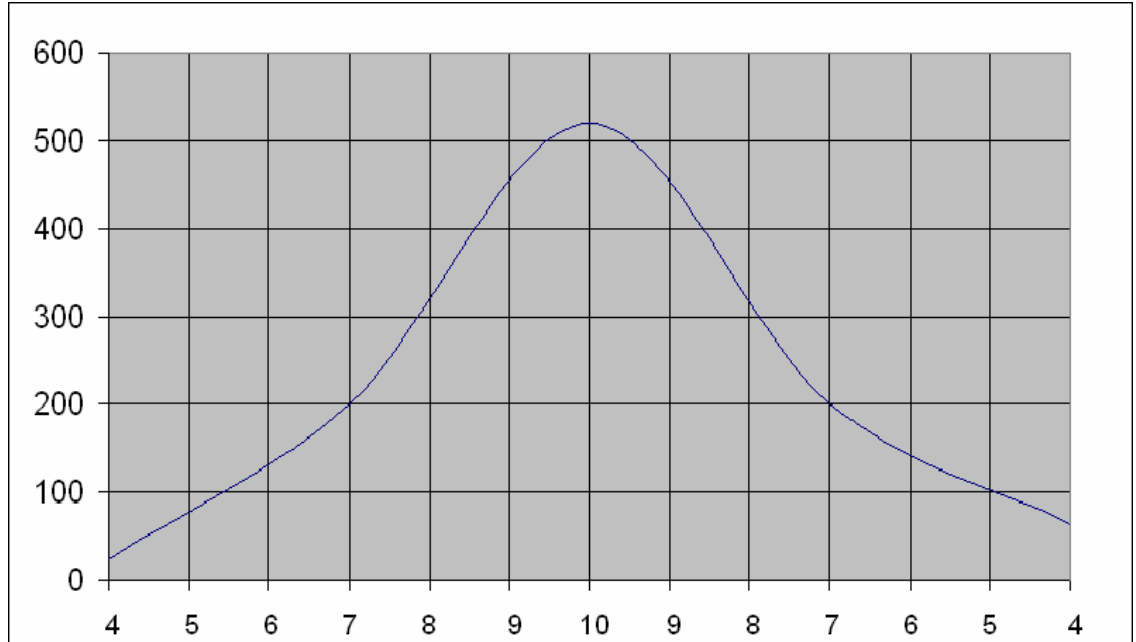
Kuva 26. Kolmikulmio

$$\tan \alpha = \frac{a}{b} \Rightarrow \alpha = \arctan\left(\frac{a}{b}\right) \quad (10)$$

Kaavan 11 perusteella määritetään kulman suuruus, kun tähtäin osoittaa maalitaulun uloimpaan numeroon, tässä tapauksessa numeroon 4.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{0.07\text{m}}{10\text{m}}\right) = 0.40^\circ$$

Taulun numerossa 4 poikkeama taulun keskipisteestä on siis 0.40° kun taulua tarkastellaan 10 metrin etäisyydeltä. Kuvasta 27 voidaan tarkastella kuinka suuri taajuus on taulun numeroissa.



Kuva 27. Taajuuden ja taulun numeroiden välinen riippuvuus

Kuvassa 27 esitetty kuvaaja pätee niin horisontaalisessa kuin vertikaalisessa tarkastelussa. Kuvassa vaakasuunnassa olevat numerot ovat maalitaulun numeroita ja pystyakselilla olevat numerot esittävät taajuuden korkeutta. Tämän perusteella voidaan tehdä johtopäätös, ettei TSL230:n valonsaantia tarvitse rajoittaa. Kuvaaja myös osoittaa, että maalitaulun keskipisteen pitäisi olla kohtuullisen helposti löydettävissä. Taajuus madaltuu erittäin jyrkästi, kun keskipisteestä liikutaan pois päin.

Tämä laboratoriotesti tehtiin Tasco:n 4x20-tähtäimellä. Tasco on lopettanut tähtäimien valmistuksen kokonaan, joten ainoa vaihtoehto oli etsiä lähin vastaavanlainen tähtäin, joka toimii tähtäinlaitteessa ongelmitta. Tähtäimeksi valittiin Hawke Sport-HD 4x32-tähtäin. Tähtäimen halkaisija kasvoi 12 millimetriä. Hawke Sport-HD 4x32-tähtäimellä suoritettiin vastaavat testit, mitä yllä mittaustuloksissa on esitetty. Mittaustulokset osoittivat, että kyseinen tähtäin sopii erinomaisesti Tasco:n korvaajaksi.

3. PIIRILEVYN SUUNNITTELU

Piirilevyn suunnittelu oletettiin alun perin vaativammaksi prosessiksi, mitä se loppujen lopuksi oli. Piirilevysuunnitteluohjelmat ovat nykyään hyvin yksinkertaisia käyttäjälle. Virheitä on hyvin vaikea tehdä, ellei mene muuttamaan ohjelman oletusasetuksia sattumanvaraisesti. Piirilevyn suunnittelussa ja toteutuksessa otettiin huomioon laitteen sovittaminen pieneen tilaan. Tämän vuoksi komponentit valittiin mahdollisimman pitkälti pintaliitoskomponenteista. TSL230 on ainoa komponentti jota ei tehdä pintaliitoskomponenttina.

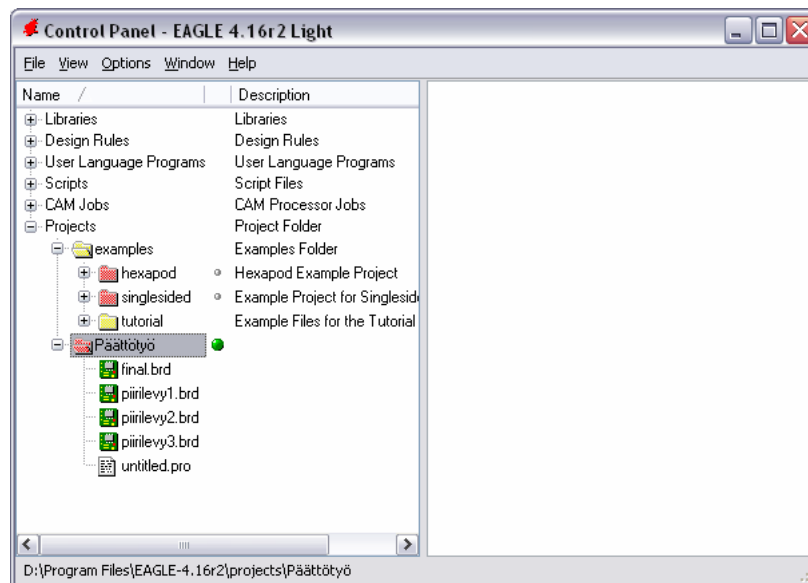
3.1 Vaatimukset piirilevylle

- Piirilevyn koon on oltava 59mm x 59mm, koska kotelon sisämitat ovat kyseiset mitat.
- Piirilevyllä on oltava laajennusmahdollisuus oman FM-lähettimen tai muun vastaavan lähettimen komponenteille.
- Piirilevyllä on oltava valmiina paikkoja komponenteille, jos suunnittelussa on tapahtunut kriittinen virhe.
- Piirilevyn on täytettävä sille asetetut turvamääräykset.
- Piirilevy on suunniteltava niin, että optokomponentti saadaan asetettua aivan keskelle tähtäintä.
- Komponenttien on sijoitettava niin, että tasapainoakseli säilyy mahdollisimman keskellä.

3.2 Piirilevyn suunnittelu Eagle:lla

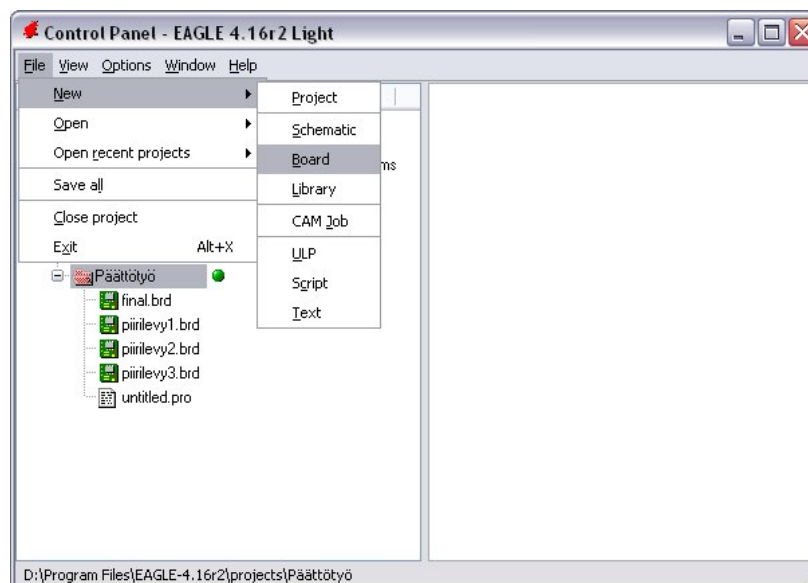
Piirilevy suunniteltiin Eagle piirilevynsuunnitteluohjelmalla, koska se on ilmainen ja se osoittautui erittäin yksinkertaiseksi käyttää. Ainoana ongelmana ohjelman toiminnassa oli, ettei ohjelman oletusasetuksissa oltu määriteltynä ainoatakaan komponenttikirjastoa, vaan ne täytyi lisätä itse ohjelmaan. Kirjastot täytyi lisätä vielä yksi kerrallaan, joten jokaisen tarpeellisen kirjaston lisääminen ohjelmaan oli todella työlästä, muttei niin työlästä kuin OrCad:n käytön opettelu. OrCad:n lisäksi suunnittelu olisi mahdollista suorittaa muun muassa PADS:lla, joka on erittäin

yleinen ohjelmisto elektroniikkasuunnittelutoimistoissa. Eagle:n päävalikko on kuvan 28 mukainen.



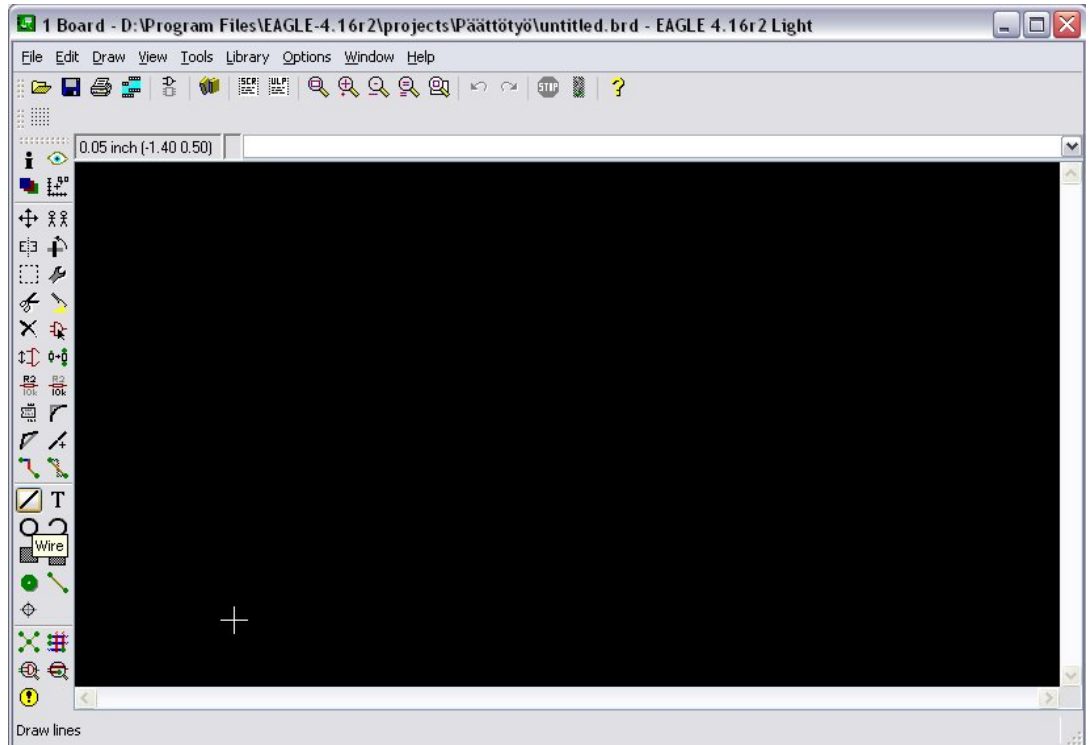
Kuva 28. Eagle:n päävalikko

Kuvasta 28 voi huomata, että ohjelma näyttää viimeisimmät projektit suoraan päävalikossa. Tämä helpottaa ja nopeuttaa piirilevyn suunnittelun aloittamista. Päävalikosta saa valittua uuden piirilevyn suunnittelun seuraamalla kuvan 29 mukaista polkua.



Kuva 29. Uuden piirilevysuunnitteluprojektin aloittaminen

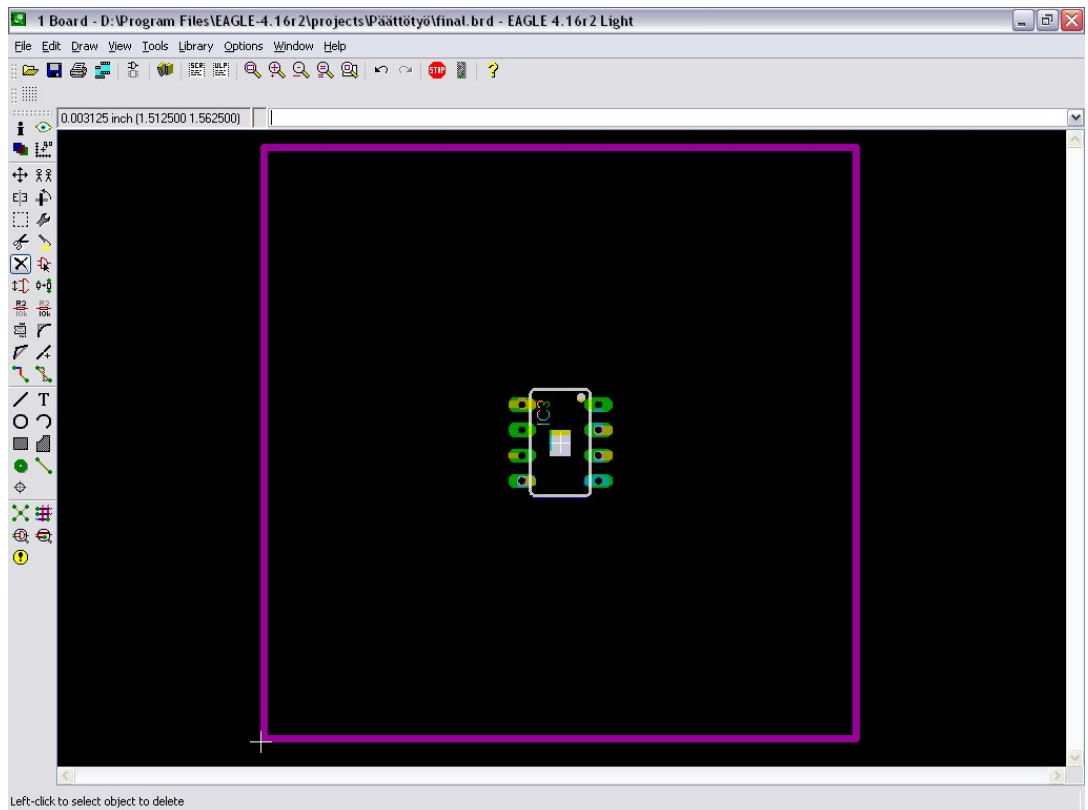
Kun uusi piirilevysuunnitteluprojekti on valittu, avautuu uusi ikkuna johon piirilevyn komponentit sijoitetaan ja niiden väliset yhteydet tehdään. Kuvassa 30 on esitetty tämä näkymä.



Kuva 30. Uuden piirilevyn pääikkuna

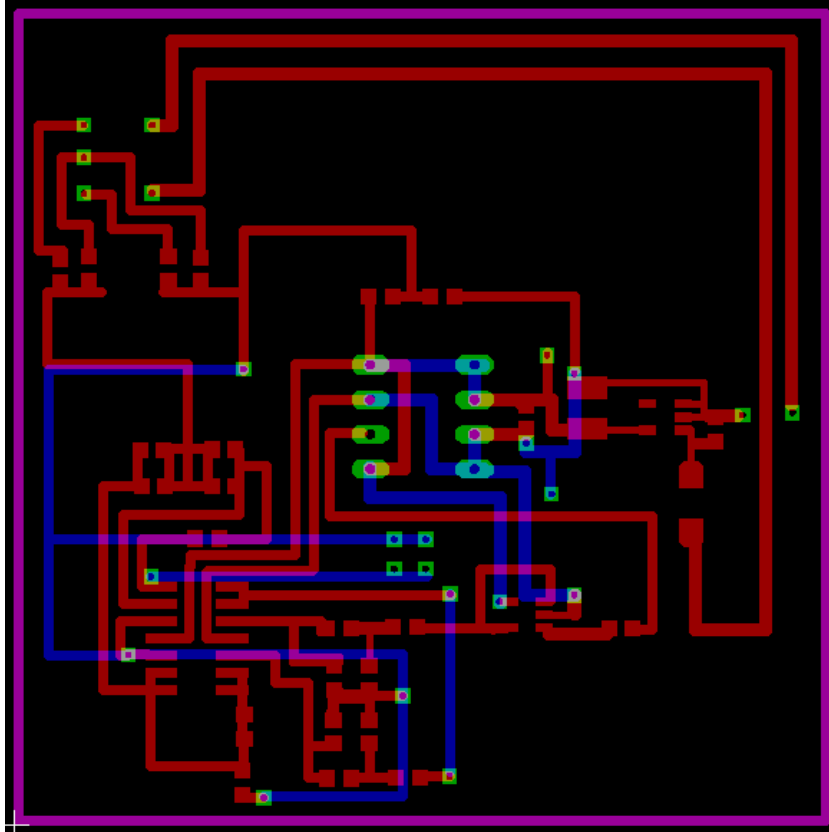
Kuvassa 30 näkyy vasemmassa reunassa suunnitteluun tarvittavat painikkeet, joista löytyy muun muassa yhteyksien veto, komponenttien padien ja nastojen lisäys. Lisäksi lisättyihin komponentteihin voi lisätä nimen ja komponentin arvon, jotta valmiiseen piirilevyyn komponenttien sijoittaminen olisi helpompaa.

Piirilevyn voi suunnitella monella eri tapaa, mutta tässä tapauksessa suunnittelu kannattaa aloittaa rajaamalla halutun piirilevyn kokoinen alue. Rajausta kannattaa tehdä molemmille puolille piirilevyä, koska tämä helpottaa syövytysvaiheessa kalvojen asettamista oikealle kohdalle piirilevyä. Tämän jälkeen etsitään optokomponentille keskikohta ja sijoitetaan komponentti siihen. Yksi tapa tehdä tämä, on vetää yhteys alussa tehtyyn piirilevyn rajaavaan alueen kulmasta kulmaan, jolloin leikkauskohta näyttää keskikohdan. Tämän jälkeen optokomponentin voi sijoittaa keskelle piirilevyä. Kuvassa 31 on esitetty piirilevyn suunnittelu siinä vaiheessa, jossa piirilevyn alue on rajattu sekä optokomponentti on sijoitettu omalle paikalleen.



Kuva 31. Piirilevyn alueen rajaaminen ja optokomponentin keskittäminen

Tämän jälkeen sijoitellaan kaikki komponentit piirilevyllä ja yhdistetään ne toisiinsa. Johdotuksen voi tehdä joko manuaalisesti tai automaattisesti. Tässä työssä johdotus ja reititys tehtiin manuaalisesti, koska kytkentä on varsin yksinkertainen. Manuaalisella reitityksellä ja komponenttien yhdistämisellä voidaan myös varmistua siitä, ettei reitityksessä tule virheitä. On varsin harvinaista, että ohjelmat tekisivät virheitä, mutta jos suunnitteluohjelmalle antaa väärät ohjeet automaattisuunnitteluun, virhe tapahtuu todennäköisimmin siinä vaiheessa. Kun on itse vetänyt johdotukset, on paljon helpompi seurata signaalin kulkureittiä piirilevyllä. Piirilevysuunnittelun kannalta on aivan sama mistä lohkoista tai komponentista piirilevysuunnittelun aloittaa, ainoa mikä merkitsee, on lopputulos. Kuvassa 32 on esitetty lopullinen piirilevy.



Kuva 32. Lopullinen piirilevy

Kuvassa 32 esitetyssä piirilevyssä punaisella vedetyt johdotukset tarkoittavat sitä, että ne johdot on vedetty piirilevyn yläpuolelle. Sinisellä vedetyt johdot vastaavasti tarkoittavat sitä, että ne johdot on vedetty piirilevyn pohjapuolelle. Vihreät pisteet ovat läpivientejä, ja niissä tulosteet tulevat kummallekin puolelle piirilevyä. Violetti johto piirilevyn ympärillä tarkoittaa sitä, että siinä on vedetty johdotus kummallekin puolelle piirilevyä.

4. MEKANIIKAN SUUNNITTELU

Tähtäinlaitteen mekaniikan suunnitteluun keskityttiin suunnittelussa kaikkein viimeisimpänä, koska mekaaniikkaa oli vaikea suunnitella ennen kuin oli tiedossa millaisia komponentteja ja osia tähtäimeen tulee. Mekaniikan suunnittelussa keskityttiin lähinnä kotelointiin ja kuinka komponentit saataisiin kaikkein yksinkertaisimmin asennettua koteloon. Käyttäjäystävällisyys oli yksi tärkeä osa suunnittelua. Kotelointi on suunniteltava niin, että laite todella kestää käyttöä, eikä hajoa ensimmäisestä kolauksesta.

Kotelo ja tähtäin kiinnitettiin toisiinsa niin, ettei niiden välinen keskinäinen liitos muutu ajan myötä. Jotta tällainen liitos olisi mahdollista toteuttaa, tarvittiin koteloon sovitinpala. Sovitinpala tehtiin nylonista ja sen ulkomitat olivat yhtäsuuret kuin kotelon sisämitat, ainoastaan pituus oli lyhyempi kuin kotelon sisäpituus. Tämä sen vuoksi, että kotelon sisään saataisiin mahtumaan kaikki tarpeellinen elektroniikka, mukaan lukien FM-lähetin ja paristo koteloineen. Nylonin sisään tehtiin 39 millimetriä halkaisijaltaan oleva reikä, johon tähtäimen okulaari voitiin asettaa. Nylon-pala tehtiin niin, että siinä oli kiristysruuvit joilla sovituspalan ja tähtäimen sai kiinnitettyä toisiinsa. Tämän lisäksi sovituspalaan kiinnitetään myös piirilevy. Piirilevyn kiinnittäminen sovitinholkkiin tapahtuu ruuveilla. Sovitinholkissa on neljä kappaletta M6-kierteellä varustettuja reikiä. Kotelo ja sovitinholkki saadaan tällä tavoin kiristettyä tähtäimeen kunnolla.

5. LOPPUTULOKSET

Tämän työn suunnittelu ajattelutasolla aloitettiin jo syksyllä 2006, mutta tutkintotyön aiheeksi se valittiin vasta helmikuussa 2007. Tästä alkoi intensiivinen tähtäinlaitteen kehitysprojekti, jossa tavoitteena oli toteuttaa toimiva prototyyppi tähtäimestä. Tässä onnistuttiinkin aikatauluun nähden varsin hyvin, vaikka paljon suunnitelluista asioista jäi toteuttamatta. Kaikesta kiireestä huolimatta tutkintotyön aikana saatiin tutkittua asioita, joita ei välttämättä ole aikaisemmin tällä tarkkuudella tutkittu. Työn tiimoilta myös näkövammaiset ampujat ovat saaneet uutta tietoa ammunasta ja siihen liittyvästä laitteistosta.

Tähtäinlaitteen elektroniikka oletettiin työtä aloitettaessa hieman monimutkaisemmaksi, kuin se loppujen lopuksi oli. Tämä johtui siitä, ettei alun perin ollut tietoa kaikkein nykyaikaisimmista optokomponenteista joita on markkinoilla. Alkuperäiseen suunnitelmaan kuului lohko, joka muodostaa jännitetasen valovoimakkuudesta. Tällä jännitteellä oli tarkoitus ohjata lohkoa, joka muodostaa jännitteestä audiotaajuisen signaalin. Markkinoilta löytyi kuitenkin piiri, jossa nämä kaksi lohkoa oli sulautettu yhteen piiriin. Näin ollen toteutuksessa jäi enemmän aikaa miettiä signaalin suodatusta ja muita äänenlaatuun vaikuttavia seikkoja.

Työn aikana tutkittiin erilaisia optokomponentteja ja niiden toimivuutta tähtäinlaitteessa. Optokomponenttien tutkimuksen aikana havaittiin sattumusten kautta, että ammunnan luotettavuuden kannalta on oleellista, että valaiseva lamppu on tasajännitteellä toimiva, koska muussa tapauksessa optokomponentin tuottama ulostulotaaajuus moduloituu lampun ominaistuuksista ja tämä kuuluu tähtäinlaitteen audiosignaalin epämiellyttävänä värinä.

Työtä aloitettaessa oletettiin, että optokomponentin toiminnan kannalta on oleellista, että komponentin näkökenttä olisi mahdollisimman pieni, jotta tarkkuus saataisiin mahdollisimman hyväksi. Tämä oletamus osoittautui täysin vääräksi. Komponentin näkökentällä ei ole lainkaan merkitystä, koska tähtäimen optiikka taittaa valon kohti okulaarin polttopistettä, jonka vuoksi okulaarilta muodostuva kuva on parin millimetrin kokoinen riippuen hieman tähtäimestä ja kuinka kaukaa okulaarin muodostamaa kuvaa katsotaan tai projisoidaan. Pienin ja terävin kuva tai tässä tapauksessa ääni saadaan aikaiseksi okulaarin polttopisteessä, joka

normaaleissa ammuntaan tarkoitetuissa tähtäimissä sijaitsee noin kymmenen senttimetrin päässä okulaarista.

FM-lähetintä testattaessa lähettimen testaus osoitti, että laitevalmistajat todella pysyvät EU:n tai muun päättävän elimen asettamien rajojen sisäpuolella. Valitettavaa kuitenkin oli, että ajan puutteen vuoksi oma FM-lähetin jäi rakentamatta aikarajan umpeutumisen vuoksi. Toisaalta ainoa FM-lähetinpiiri, joka yleensä saapui testattavaksi, olisi ollut laitton Ficoran asettamien määräysten perusteella, koska piirin ERP-teho olisi valmistajan antamien spesifikaatioiden mukaan ollut -21dBm, kun laki määrää ERP-teholle maksimirajaksi 50nW, eli -53dBm. Markkinoilla olisi kuitenkin piirejä, joilla oma lähetin voitaisiin rakentaa lain puitteissa.

Työssä toteutetun laitteen lopullinen kokoonpano koostui toiminnallisella tasolla tehonsyötöstä, optotunnistimesta, suodattimesta ja lähetimestä. Näiden lohkojen toiminta selviää kappaleessa 2, jossa on käyty läpi komponenttien toiminta ja käyttömahdollisuudet. Lopullista kokoonpanoa ja kytkentää ei esitellä tarkemmin, koska työssä käsitellään aihetta, jossa on mahdollisuus kaupalliseen tuotteeseen.

Työssä jäi parantamisen varaa monessa eri suhteessa, vaikka varsinaisista epäonnistumisista ei voida puhua. Muun muassa piirilevy suunniteltiin aivan liian kiireessä ja tämän vuoksi prototyyppiä kokoonpantaessa huono suunnittelu aiheutti paljon ylimääräistä työtä. Piirilevyn seuraavassa versiossa kannattaakin huomioida läpivientien sijoittelu ja piirilevystä lähtevien kaapelien keskittämistä yhteen paikkaan, jolloin läpiviennit ja kaapelien kytkennät voidaan hoitaa piikkirimalla. Tällöin kaapelien kytkennöissä vältetään juottaminen ja voidaan käyttää nopeammin liitettävissä olevia liittimiä.

Kehitysideoita tähtäinlaitteelle on jo olemassa. Ampujien kanssa on ollut puhetta, että laitteeseen voitaisiin kehittää pieni mikrokytkin, joka katkaisee audiosignaalin syötön, kun kytkintä ei paineta. Tämä kytkin sijoitettaisiin joko aseeseen perään, tai vaihtoehtoisesti tukkiin. Tällä kytkimellä saavutettaisiin se etu, ettei ampujan tarvitse kuunnella ajoittaista napsutusta kuulokkeista silloin kun hän ei ole ampumassa. Kotelo on tällä hetkellä vasta prototyyppiasteella ja koteloinnin ja käyttöliittymän osalta ampujilta otetaan vinkkejä ja ideoita vastaan sen jälkeen, kun ensimmäiset tähtäimet saadaan toimitettua kenttätestaukseen ampujille. On myös

ollut jonkin verran puhetta, että kehitettäisiin tähtäinlaite kuurosokeille. Tällainen laite tulisi toimimaan siten, että laite toimisi värinällä. Kun ampuja tähtää maalitauluun päin, hän tuntee tietyn voimakkuista värinää esimerkiksi rannekkeesta, johon on asennettu epäkeskomoottori. Tähtäyspisteen siirtyessä kohti maalitaulun keskustaa värinän voimakkuus kasvaisi ja ampuja tietäisi tämän perusteella, kuinka lähelle kymppiä ase osoittaa. Tietysti tässä on otettava huomioon, ettei värinän voimakkuus ole liian voimakas, koska tällöin värinä voi häiritä ammuntaa.

Tähtäinlaitteessa on selkeää potentiaalia kaupalliseksi tuotteeksi. Tämä tarkoittaa sitä, että jatkossa tuotetta täytyy kehittää teollisempaan suuntaan.

Kaiken kaikkiaan tämä työ oli erittäin onnistunut aihevalinta, koska tässä työssä pääsi työskentelemään monilla eri työkaluilla, miettimään asioita niin elektroniikan kuin tietoliikenteen osalta. Tämän lisäksi työhön kuului piirilevysuunnittelua ja komponenttien ostohankintaa. Nämä seikat syvensivät tietämystä monella eri osa-alueella niin elektroniikka- kuin tietoliikennetekniikkainsinöörinä.

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet:

- 1 Ari Rantala: Tietoliikennetekniikka 1, Lähetinosa. 25.09.1999. s.30-42

Sähköiset lähteet:

- 2 <http://fi.wikipedia.org/wiki/LDR-valovastus> [Viitattu 3.3.2007].
- 3 <http://fi.wikipedia.org/wiki/Fotodiodi> [Viitattu 3.3.2007].
- 4 Texas Instruments. OPT101-piirin datalehti. [Viitattu 4.3.2007]. Saatavissa: <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/opt101.pdf>
- 5 National Instruments. LM331-piirin datalehti. [Viitattu 4.3.2007]. Saatavissa: <http://www.national.com/ds/LM/LM231.pdf>
- 6 Texas Advanced Optoelectronics Solutions. TSL230-piirin datalehti. [Viitattu 7.3.2007]. Saatavissa: <http://www.taosinc.com/images/product/document/TSL230R-LF-E3.PDF>
- 7 Viestintävirasto. 15W/2006 M - määräys luvasta vapaiden radiolähettimien yhteistajuuksista ja käytöstä. [Viitattu 16.3.2007] Saatavissa: http://www.ficora.fi/attachments/suomi_R_Y/1158858976905/Files/CurrentFile/Viestintavirasto15W2006M.pdf
- 8 ETSI. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Cordless audio devices in the range 25 MHz to 2 000 MHz;Part 2: Harmonized EN covering essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive. [Viitattu 17.3.2007] Saatavissa: http://portal.etsi.org/docbox/Workshop/GSC/GRSC_WP1_radio_mics/Band_II/en_30135702v010301v.pdf
- 9 ERC/CEPT. ERC RECOMMENDATION 70-03. [Viitattu 17.03.2007] Saatavissa: <http://www.ero.dk/documentation/docs/doc98/official/pdf/REC7003E.PDF>
- 10 Maxim / Dallas Semiconductor. Application Note 1869: Single Chip FM-transmittern Extends Home-Entertainment Systems. [Viitattu 9.3.2007] Saatavissa: <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/AN1869.pdf>
- 11 Texas Instruments. TPS76933-regulaattorin datalehti. [Viitattu 20.3.2007] Saatavissa: <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/tps76933.pdf>